



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**AUTOMATIZACE PROCESU ZAKLÁDÁNÍ DÍLU DO
SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU**

AUTOMATION OF PROCESS OF INSERTING THE PART INTO THE WELDING DEVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Adámek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Tomáš Adámek
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Automatizace procesu zakládání dílu do svařovacího přípravku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukčně programátorská práce, která se bude zabývat návrhem koncového efektoru a programováním robotu s tímto efektořem.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše dané problematiky
- Návrh konceptu automatizace procesu zakládání daného dílu
- Konstrukční návrh koncového efektoru
- Výkresová dokumentace vybraných částí koncového efektoru

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-23957-4

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie: 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285

NOF, Shimon Y. Handbook of industrial robotics: 1. 2nd ed. New York: John Wiley, c1999. ISBN 978-047-1177-838

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návrh automatizace zakládání dílu do svařovacího přípravku pro odporové svařování ve společnosti PWO Czech Republic a.s. Valašské Meziříčí, působící na poli automotive průmyslu. Na základě provedené počáteční rešerše, obsahující informace o průmyslových robotech a manipulátorech, je v první části práce zpracován automatizační koncept včetně ekonomického zhodnocení smyslu této automatizace. V druhé části práce je zrealizována konstrukce vhodného koncového efektoru, společně s technickou dokumentací vybraných částí efektoru.

ABSTRACT

Main topic of this bachelor thesis is the design of the automation process of inserting part into the welding fixture for resistance welding in the company PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí, active in the field automotive industry. Based on an initial research, containing industrial robots and manipulators, an automation concept is developed, including an economic assessment of the purpose of this automation. In the second part of the thesis is realized the construction of a suitable end effector, along with the technical documentation of selected parts of the effector.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizace výrobního procesu, koncový efektor, robotizace pracoviště, ekonomické zhodnocení

KEYWORDS

Automation of production process, end effector, robotization of work cell, economic evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ADÁMEK, T. *Automatizace procesu zakládání dílu do svařovacího přípravku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 75 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D., a svým kolegům z SP oddělení společnosti PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí za cenné rady a odborné vedení při zpracování této bakalářské práce. Další velké díky patří mé rodině a všem blízkým za nepřetržitou podporu.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D., a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 13. 5. 2018

.....
Adámek Tomáš

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PROBLEMATIKA AUTOMATIZACE	17
2.1	Definice termínu robot a manipulátor	18
2.1.1	Vlastnosti průmyslových robotů a manipulátorů	19
2.2	Kategorizace průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)	20
2.2.1	Jednoúčelové manipulátory (podavače)	21
2.2.2	Víceúčelové manipulátory	21
2.2.3	Synchronní manipulátory (teleoperátory)	21
2.2.4	Programovatelné (univerzální) manipulátory	21
2.2.5	Manipulátory s pevným programem	21
2.2.6	Manipulátory s proměnlivými programy	21
2.2.7	Kognitivní roboty	22
2.3	Stupně generace robotů a manipulátorů	22
2.4	Základní typy PRaM	23
2.5	Významní výrobci PRaM	25
3	NÁVRH KONCEPTU AUTOMATIZACE	27
3.1	Odporové svařování	28
3.1.1	Kalkulace Basic MOST (Operátor)	30
3.1.2	Simulace pracovního cyklu robotem	34
3.1.3	Ekonomické zhodnocení investice do robota	36
4	NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU	43
4.1	Návrh vakuové části koncového efektoru (výlisek)	45
4.1.1	Vakuová přísavka	45
4.1.2	Vakuový ejektor	46
4.1.3	Senzorika vakuové části efektoru	48
4.2	Návrh mechanické části efektoru (matice)	50
4.2.1	Paralelní chapadlo	51
4.2.2	Návrh ovládacího ventilu	55
4.2.3	Senzorika mechanické části efektoru	56
4.3	Sestava robotu	57
5	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ KONCOVÉHO EFEKTORU	59
5.1	Čelisti mechanického chapadla SCHUNK MPG-plus 20-AS	59
5.2	Kotvicí deska mechanických chapadel SCHUNK MPG-plus 20-AS	61
5.3	Základní umíst'ovací deska vakuových přísavek	62
5.4	Připojovací deska k interface robotu	65
6	ZÁVĚR	67
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	71
8.1	Seznam tabulek	71
8.2	Seznam obrázků	71
8.3	Seznam použitých zkratk a symbolů	73
9	SEZNAM PŘÍLOH	75

1 ÚVOD

Automatizaci výroby a s ní spojený trend digitalizace lze v současné době považovat za jedno z nejaktuálnějších témat na poli strojního průmyslu. Z hlediska historie se však první zmínky o ní vyskytují již ve starověku. Za jeden z prvních vynálezů tohoto druhu se považuje automatické otvírání a zavírání dveří alexandrijského chrámu (200 let př. n. l.). Jednalo se o jednoduchý systém protizávaží, uváděný do pohybu za pomoci ohně, vody a vzniklé vodní páry. Takovýchto historicky pokrokových a zároveň poměrně jednoduchých strojů k ulehčení fyzicky namáhavé práce bychom v minulosti našli nepřeberné množství napříč jednotlivými zeměmi a časovými etapami. [1]

Velice významný milník ve vývoji automatických strojů tvoří vibrační podavač obilí z roku 1588, popsany italským technikem Ramellim, který je považován za první výrobní automat. Avšak ke sestrojení skutečných automatických strojů došlo až o tři století později. Konkrétně v roce 1801, kdy spatřily, díky francouzskému vynálezci Ch. Jacquardovi, světlo světa dopřádací stroje, plně využitelné při předení. Na ně poté během desetiletí plyně navazovaly poloautomatické revolverové soustruhy, papírenský stroj a zemědělská mlátička. [1]

Společnost Ford, která neodmyslitelně patří k dominantním výrobcům automobilových vozidel pro americký trh, byla schopna v roce 1910 za pomoci soustruhů, fréz a vyvrtávacích strojů na hoblování a frézování ozubených kol produkovat 10 tisíc aut ročně. V horizontu čtyř let byla do výroby instalována první montážní linka, která převratně zkrátila montážní dobu ze 14 na 6 hodin. Nicméně tato linka ani zdaleka neodpovídala dnešním kritériím, dělníci byli nuceni ručně upínat, vyjímat a přenášet díly. [1] [2]

První polovina 20. století obecně reprezentuje ve vývoji autonomních strojů zásadní mezník. Nejen, že v období před druhou světovou válkou nastala doba vzniku téměř samostatně fungujících automatických strojů, ale zároveň se zrodily první teoretické písemnosti charakterizující principy automatického řízení. Zcela zásadní vliv po této stránce sehrály například Nyquistovy práce v oblasti stability a Ziegler-Nicholsova metoda optimálního nastavení regulátoru z roku 1942. Vše vyvrcholilo rokem 1928 uplatněním automatů v automatické montáži Smithovy továrny v Milwaukee. [1]

Neméně významnou událostí v tomto období je definování základů NC (Numerical Control = číslicové řízení) v roce 1938 Claudem E. Shanonem. Na tyto základní principy navázal John Pardons, který mezi lety 1949 až 1952 vyvinul systém řízení polohy vřetene obráběcího stroje ovládaného počítačem. Zkalkulované body dráhy byly uloženy na děrnou pásku, která zprostředkovávala automatické čtení programu na stroji. Prostřednictvím tohoto média probíhalo uvolňování dat a současně byly využity servomotory pro ovládání pohybu jednotlivých os. Vznik NC strojů hraje na poli automatizace obrovskou roli, protože umožnil vytvářet konstrukce dnešních průmyslových robotů. [1]

První průmyslový robot byl vyvinut společností FANUC a v roce 1974 instalován do její továrny. O deset let později se objevuje trend začínajících CNC (Computer Numerical Control = počítačově číslicové řízení) systémů s grafickým programovacím prostředím. V přítomnosti jsou již průmyslové roboty a CNC stroje v jistých případech nepostradatelnou a zcela běžnou součástí výrobního procesu. Největší podíl v zastoupení drží automobilový průmysl, avšak hojně využití je možné nalézt také v dalších odvětvích. [1]

Automatizace zabezpečuje zvýšení růstu efektivity a produktivity práce. Nová technologie ovlivňuje organizaci výroby a člověka staví do nové pozice ve vztahu k technickému prostředí a přírodě. Pomyslnou úroveň automatizace průmyslu lze také brát jako indikátor vyspělosti daného odvětví. [1]

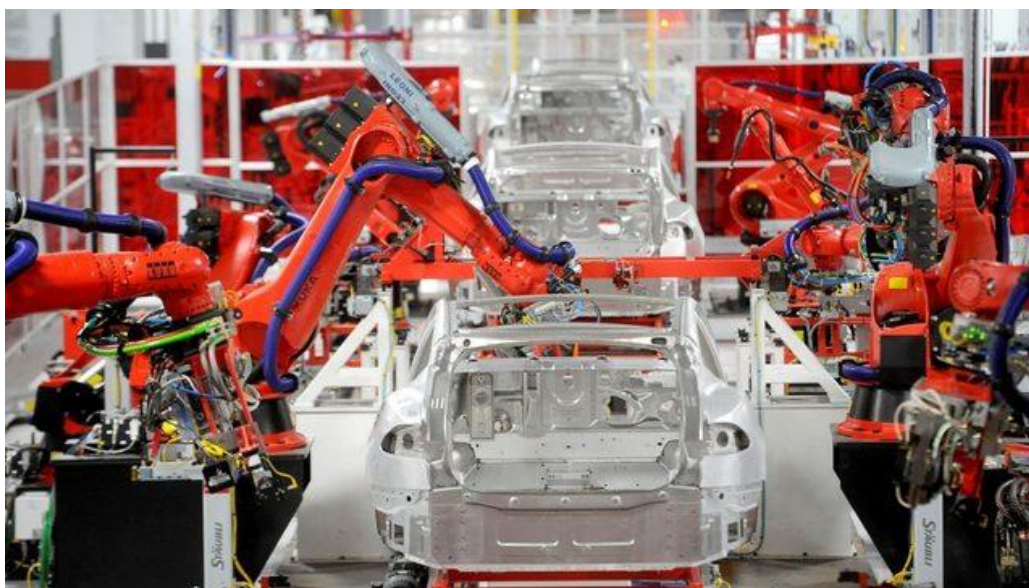
Mezi cíle této práce patří seznámit čtenáře se základním rozdělením strojů používaných k účelům automatizování výroby, dále s návrhem konceptu automatizace konkrétního procesu zakládání dílu do svařovacího přípravku a s návrhem koncového efektoru spjatého s tímto procesem. Závěrem bude prezentována výkresová dokumentace vybraných částí výše zmíněného efektoru.

2 PROBLEMATIKA AUTOMATIZACE

Proces automatizace tvoří komplexní celek několika dílčích činností a nelze jej simplifikovat pouze na vlastní stroj. Řadí se sem automatizovaná doprava, manipulace s materiálem, kontrola měření, výměna nástrojů aj. Tento postup technologické modernizace lze vyřešit aplikací univerzálních či jednoúčelových zařízení nebo jejich případnou kombinací. Automatizace přináší přidanou hodnotu tam, kde je potřeba nahradit pracovníka automatem, jestliže se jedná o monotónní práci, činnost ve zdraví škodlivém či rizikovém prostředí, fyzicky namáhavou pracovní činnost nebo zvýšení jakosti výroby. [3]

Při vytváření účinného východiska je třeba zabývat se optimalizací požadovaného výsledku, a to nejen z hlediska technického, ale i ekonomického. Tato hlavní kritéria se však dají posoudit i z mnoha jiných aspektů, jako jsou např. rychlost dodávky konkrétního systému, preciznost výroby, prostorové možnosti, energetická náročnost apod. [3]

Návratnost investic do těchto zařízení se pak projevuje snížením provozních nákladů, zvýšením bezpečnosti a růstem efektivity práce, což otevírá nové možnosti v oblasti lidských zdrojů na poli nároků na spolehlivost, pečlivost a bdělost pracovníka. Automatizovaný provoz rovněž zprostředkovává výhodu lepší konkurenceschopnosti oproti podnikům využívajícím levnou pracovní sílu a příležitost k uplatnění lidí s tvůrčím intelektem. [3] [4]



Obr. 1) Robotická linka v automobilce Tesla [5]

2.1 Definice termínu robot a manipulátor

V rámci studia robotiky se přirozeně hledá nejvhodnější definice pojmů „robot“ a „manipulátor“. Termín „robot“ ve smyslu nahrazení fyzické práce byl poprvé v historii použit českým spisovatelem Karlem Čapkem v jeho slavném díle z roku 1920 jménem R. U. R. (= Rossum's Universal Robots), kde toto označení sloužilo k pojmenování uměle vytvořených bytostí, které sloužily k výkonu fyzicky namáhavé a nebezpečné práce. Toto slovo ovšem vymyslel a svému bratrovi doporučil Josef Čapek. Pojem „robot“ se stal mezinárodním termínem, vešel do povědomí laické i odborné veřejnosti a v soudobé strojírenské terminologii označuje automatické stroje nahrazující určité výrobní pozice lidí nebo jejich participaci na výrobním procesu. [3][4]

Konkrétní chápání pojmu „robot“ se ve světové literatuře poněkud rozchází. Existuje celá řada vymezení, odvozených například od počtu stupňů volnosti (robot je mechanické zařízení od tří stupňů volnosti, do tří stupňů se jedná o manipulátor) nebo od smyslu jejich aplikace (průmyslový robot je specifikován jako automatické manipulační zařízení, libovolně programovatelné ve třech osách s podávacíma rukama nebo technologickými nástroji a toto zařízení je vyhrazeno pro použití v průmyslu). Různé interpretace zmíněného termínu mohou navíc činit problém v určení rozdílu mezi robotem a průmyslovým robotem, jak je zřejmé z výše uvedeného. Jako nejjednodušší řešení se jeví, že průmyslový robot je podmnožinou robotů v obecném slova smyslu. [4]

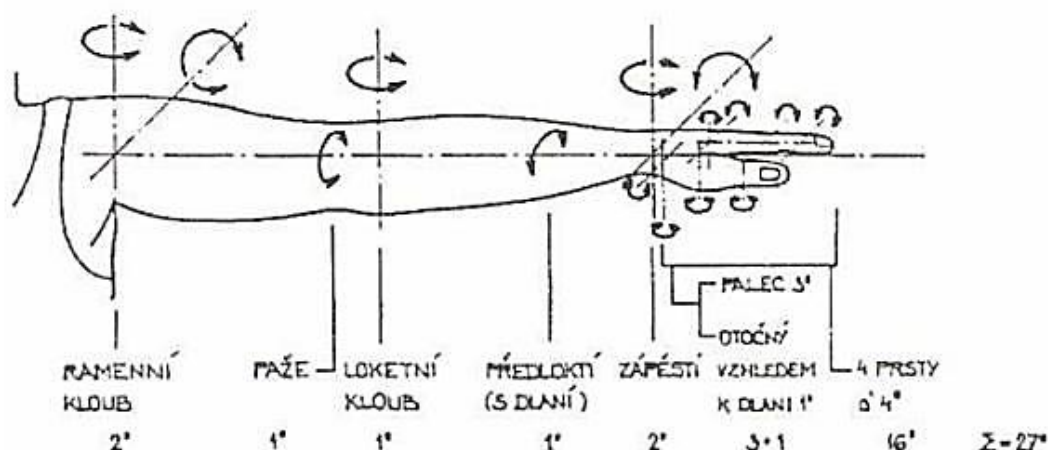
Pokud jde o všeobecnou definici pojmu „robot“, pro potřeby této práce lze akceptovat názor Doc. Ing. Ivana Havla, Csc., v následujícím znění [4]:

„Robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí.“

Nicméně povahu „průmyslového robotu“ nepochybně velmi dobře vystihuje definice publikovaná prof. P. N. Beljaninem [4]:

„Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samo výuky, samo organizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“

Ze všedního hlediska je označení „robot“ vhodné zejména pro manipulační mechanismy, provádějící činnosti analogické k typickým úkonům člověka, vykonávané s „lidskou“ obratností v rámci manipulačních mechanismů řízené počítačem. Zároveň je třeba podotknout, že manipulační schopnosti robota se nemusí úzce blížit lidské ruce, která disponuje dvaceti sedmi stupni volnosti. [4]



Obr. 2) Znázornění kinematiky lidské ruky [4]

2.1.1 Vlastnosti průmyslových robotů a manipulátorů

Manipulační schopnost

Jedná se o dispozici uchopovat objekty, přemísťovat je a realizovat na nich úpravy, eventuálně konat montážní činnost a manipulaci s nástroji, a to i v případě práce s nimi ve smyslu výrobního zařízení (tzv. technologický robot). [4]

Univerzálnost

Vlastnost, která demonstruje to, že konkrétní zařízení neslouží pouze jednomu účelu, ale při jakékoliv změně programu, koncového efektoru a nástrojů se může použít i pro jiné účely nebo jiné pracoviště. [4]

Možnost vnímání

Jde o určitý typ interakce s okolním prostředím pomocí čidel (senzorů), které napodobují lidské smysly. Jako příklady lze uvést vizuální vazbu (zrak), akustickou vazbu (sluch), dotekovou vazbu (hmat) a popřípadě vazby čidly, detekující informace, jejíž příjem je pro člověka nemožný. [4]

Autonomnost

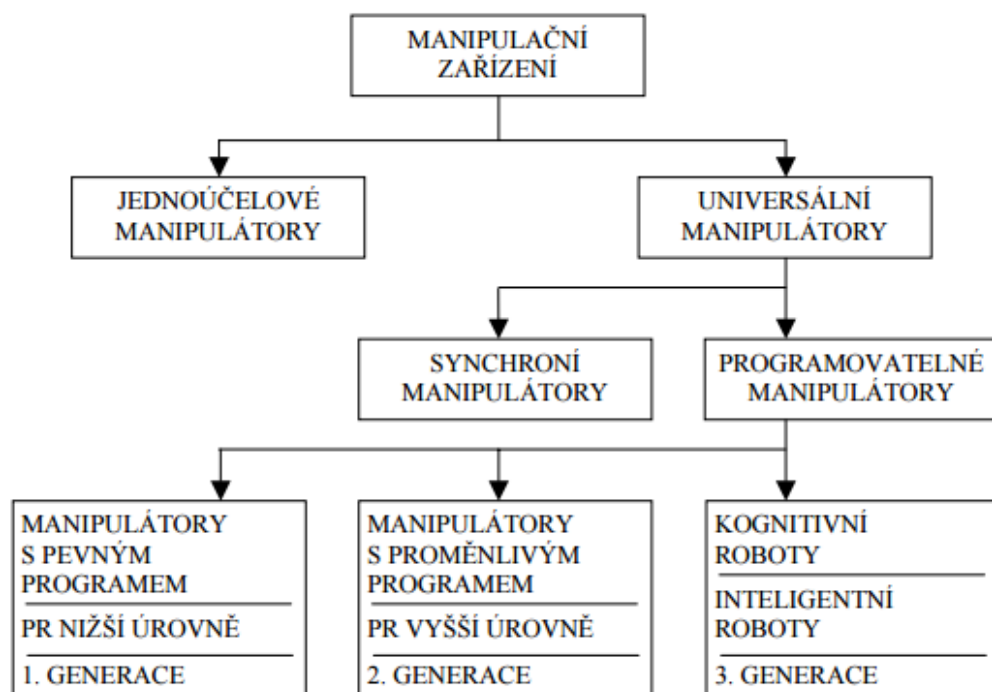
Schopnost automaticky vykonávat složitý pracovní algoritmus dle konkrétního programu. V nejzákladnějším případě tento program není pevný (definovaný konstrukcí jako například u běžných řídicích automatů), ale volitelný buďto člověkem, nebo automaticky vlastním zařízením. [4]

Prostorová soustředěnost (integrovatost)

Prostorové uspořádání jednotlivých složek do celistvého kompletu. Tato problematika se však přímo netýká řídicího systému, obzvláště pokud jde o větší počítač, jenž může být robotem řízen dálkově. Konsekvencí integrovatosti je i nenáročná transportovatelnost, protože v určitých případech lze klást důraz na mobilitu robota. [4]

2.2 Kategorizace průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM)

Rozdělení manipulační techniky je podmíněno požadovanou funkcí, technickou realizací, aplikačními možnostmi, úrovní řízení, mírou autonomnosti apod. Koncepčně se rozlišují dvě fundamentální skupiny, a to pojetí jednoúčelové PRaM a univerzální PRaM. [3] [6]



Obr. 3) Blokové schéma rozdělení manipulačních mechanismů [7]

Jednoúčelové PRaM

Toto pojetí je definováno omezenými pohybovými možnostmi, které souvisí s přizpůsobením konkrétní aplikaci, s úrovní řízení vhodnou pro danou aplikaci, s konstrukčním vypracováním a dále s pohony korespondujícími s obsluhovanými přístroji a s užívanou technologií. [3]

Univerzální PRaM

Takzvaně víceúčelové ztvárnění s potenciálem adaptovat se různým technologiím. Výběr mezi jednoúčelovými a univerzálními PRaM vychází ze souhrnného posudku technologie, pracoviště atd., musí být stanovena rovnováha jak z technického i ekonomického hlediska. [3]

Mimo základní klasifikaci a dělení dle koncepce lze jednotlivé druhy PRaM podrobněji specifikovat pomocí charakteristických atributů, což zapříčiňuje navazující větvení do podskupin (viz Obr. 3) od nejjednodušších jednoúčelových manipulátorů (podavačů) až po kognitivní roboty, které jsou vybaveny určitou schopností vnímání a jistého „racionálního myšlení“. [3]

2.2.1 Jednoúčelové manipulátory (podavače)

Jedná se o nejprostší jednoúčelové manipulátory, které se ve výrobním provozu v podstatě nevyskytují jako samostatný člen. Pověštinou tvoří celek společně s ovládaným strojem, kde zastávají jednu předem stanovenou operaci. Zároveň jsou tímto strojem řízeny, z čehož vyplývá, že jejich parametry jsou konstrukčně i energeticky podřízeny stroji, na kterém jsou umístěny (nedisponují vlastním druhem pohonu). [3] [8]

2.2.2 Víceúčelové manipulátory

Víceúčelové manipulátory se od jednoúčelových liší zejména rozsahem manipulačních možností a vyšší úrovní z hlediska řízení. Dle jejich konkrétní aplikace se tyto možnosti dále specifikují. Mnohdy mají k dispozici vlastní typ pohonu, řízení a konstrukční návrh je koncipován tak, že mezi hlavní kritéria řadíme rozsahy jednotlivých pohybů, počet stupňů volnosti, přesnost polohování a maximální zatížení manipulátoru. Konstrukční provedení se do výrobního procesu realizuje ve dvou verzích, a to jako stacionární, nebo mobilní. [8]

Stacionární manipulátory jsou vymezeny od volného pohybu z místa na místo. Změnu polohy substituuje například translační pohybová jednotka (umístění na pojezdu), která umožňuje manipulátoru popojíždět a vykonávat pracovní operaci. Požadovaného stavu přesného řízení se docílí buď přímým naprogramováním, nebo dálkovým ovládáním. [8]

Mobilní manipulátory neboli autonomní lokomoční roboty (lokomoce = soubor technických prostředků určených k přesunu objektů z místa na místo) mají schopnost volného pohybu. Nejsou konstrukčně determinovány jedním konkrétním místem. U tohoto druhu robotů lze aplikovat elementy umělé inteligence k operativnímu řešení právě vzniklých situací, ovšem v rozmezí naprogramování (autonomnosti chování). [8]

2.2.3 Synchronní manipulátory (teleoperátory)

Synchronní manipulátory – jinak nazývané teleoperátory nebo exoskeletony – jsou manipulační mechanismy průběžně řízené řídícím pracovníkem. Manipulátor a pracovník zde tvoří uzavřenou regulační smyčku, kde člověk (řídící pracovník) na základě pohybových podnětů vyvolává silové a pohybové zesílení, to znamená, že tato zařízení přenáší na dálku příkazy člověka. Tento princip nazýváme „master – slave“. Člověk v tomto uspořádání zastupuje funkci řídící i vyhodnocující jednotky a stroj je jednotkou výstupní, konající konečný pohyb. S tímto typem manipulátoru se setkáváme například v laboratořích, operačních sálech nebo v životu nebezpečných prostředích (ztížené respirační podmínky, radioaktivita, extrémní teploty). [3] [8]

2.2.4 Programovatelné (univerzální) manipulátory

Proces řízení je funkčně závislý na řídícím programu. Nejčastěji tyto manipulátory nazýváme jako roboty. Vyhotovení a pohon pracuje zcela nezávisle na obsluhovaném stroji. [3] [8]

2.2.5 Manipulátory s pevným programem

Program v průběhu pracovního procesu má konstantní podobu a řídící ústrojí je velice jednoduše ztvárněno. Tyto manipulátory jsou nejčastěji označovány jako jednoduché průmyslové roboty. [3] [8]

2.2.6 Manipulátory s proměnlivými programy

V řídící jednotce těchto manipulátorů dochází k volbě nebo změně pracovního programu během procesu, ovšem v omezené míře. Z toho vyplývá, že manipulátor má možnost reagovat

nebo adaptovat se na některé druhy změn během výroby, což vykazuje značnou míru autonomie, a proto je označujeme jako průmyslové roboty. [3] [8]

2.2.7 Kognitivní roboty

Roboty, které disponují možností vnímat a racionálním myšlením, dokáží tedy na určité úrovni vyhodnocovat situace (kognitivní proces = proces vnímání a racionálního myšlení), bez citových a volných projevů jednání. [3] [6] [8]

Hlavní odlišnost průmyslových robotů od informačních systémů, jako jsou např. počítače, spočívá ve vykonávání fyzikálního vlivu na okolí. Realizované úkony jsou buďto převážně manipulační (slouží k přemísťování objektů a jejich mechanickému ovládnutí), nebo výrobně – technologické (uskutečňují některé výrobní operace dosud vykonávané výrobními stroji, např. vyvrtávání, soustružení a jiné). [3] [6] [8]

Nejenže tento typ robota dokáže na základě programátorem vložených algoritmů převážně samostatně vykonávat spektrum určitých činností, ale zároveň klade i vlastní požadavky na přidružené vlastní manipulátory, jejich stupně volnosti, úroveň řízení atd.

[3] [6] [8]

2.3 Stupně generace robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty lze rozdělit i do vývojově generačních skupin dle úrovně inteligence. V tomto případě se však nejedná o zcela striktní záležitost. Jednotlivé generace se mnohdy navzájem prostupují a mívají často společné znaky. Rozlišujeme těchto pět kategorií [3]:

- **Nultá generace**

Patří sem manipulátory obvykle bez zpětné vazby, což způsobuje, že veškeré poruchy či změny sledované oblasti (kontrolované senzory) směřují k nepovolení následujícího kroku a odpojení centrálního systému od přívodu energie, tzn. nouzové zastavení systému s přivoláním technické podpory údržbáře nebo seřizovače. [3]

- **První generace**

Zahrnuje roboty s jednoduchou regresivní vazbou. U těchto robotů detekujeme možnost přepínání několika předem dodaných, člověkem vytvořených podprogramů. [3]

- **Druhá generace**

Roboty této generace disponují schopností optimalizace, dokáží volit z předem uložených variant programů nejvhodnější volbu dle požadovaného kritéria optimalizace. [3]

- **Třetí generace**

Tuto generaci reprezentují roboty, jež dokáží vytvářet samostatně programy, jelikož čerpají zkušenosti nabyté během procesu řešení úloh. Předmětem úlohy je pouze zadání cíle činnosti, ale průběh řešení a konečný výsledek je odvozen od inteligence řídicího systému. [3]

- **Čtvrtá generace**

Je tvořena samostatnými roboty se společenským chováním. Vystupují a reagují obdobně jako člověk, tedy zcela nezávisle vybírají cíl pracovní úlohy. [3]

Roboty přítomné ve výrobním procesu v současných podmínkách strojího průmyslu spadají do nulté nebo první generace, zcela výjimečně do generace druhé (často označované jako systém „oko-ruka“ neboli „udělej a ověř“). Cenová politika druhé generace představuje značně nákladnou investici, protože je přímo závislá na ceně senzorové techniky, na jejímž základě probíhá potřebné rozpoznávání a vyhodnocování pracovní scény robotu. [3]

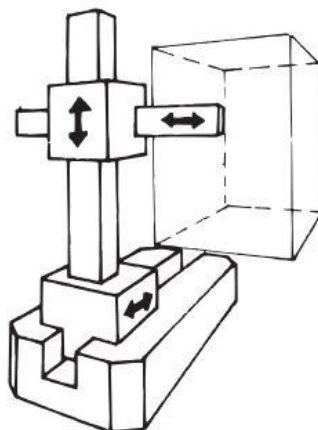
2.4 Základní typy PRaM

Klasifikace základních typů průmyslových robotů a manipulátorů je odvozena od kinematických dvojic řetězce, které tvoří základní pohybovou strukturu robotu. Kompletní kinematická struktura vychází ze dvou hlavních pohybů – translace (T) a rotace (R). Jejich reciproční kombinací lze sestavovat libovolné způsoby pohybových řetězců v trojrozměrném pracovním prostoru. [9] [10]

Nejrozšířenější jsou níže uvedené typy:

Typ TTT

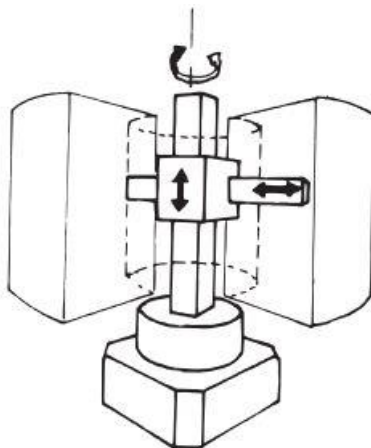
Tato struktura je sestavena ze tří translačních dvojic, což má za následek, že využívá pravouhlý souřadný systém (kartézský souřadný systém). Myšlený pracovní prostor tvoří těleso tvaru kvádru nebo krychle. Tento systém vykazuje značnou stabilitu a disponuje velice jednoduchým řízením. Za nevýhodu lze považovat nižší prostorovou pohyblivost. Využití se praktikuje především u velkých manipulačních prostor. [9] [10]



Obr. 4) Kartézská struktura [10]

Typ RTT

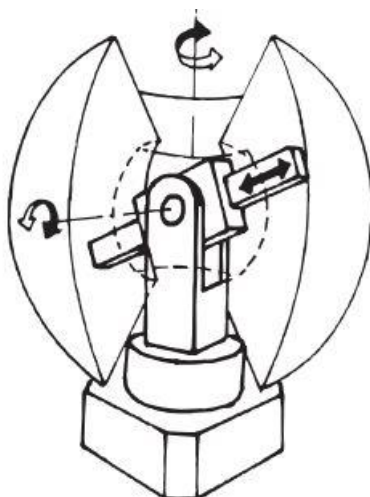
Pohybové uspořádání se skládá z jedné rotační a dvou translačních kinematických dvojic. Tato koncepce je založena na cylindrickém souřadnicovém systému. Pracovní prostor představuje válcový segment. [9] [10]



Obr. 5) Válcová (cylindrická) struktura [10]

Typ RRT

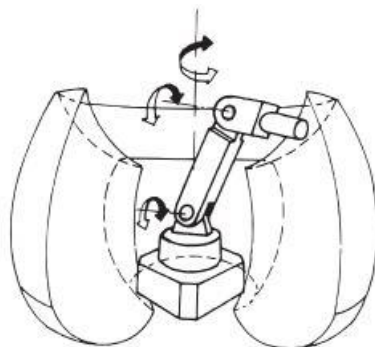
Kinematická struktura odpovídá dvou rotačním a jedné translační dvojici. Pojetí tohoto typu používá sférický souřadnicový systém. Pracovní prostor je definován kulovým segmentem. Robot charakterizuje menší pracovní prostor a komplikovanější řízení. [9] [10]



Obr. 6) Sférická struktura [10]

Typ RRR

Složení této kinematické struktury obsahuje tři rotační dvojice. Souřadnicový systémem je torusový (antropomorfní, multiúhlový souřadnicový systém), z kterého je odvozen i pracovní prostor, tzv. torus, jedná se o složený kulový segment. Roboty spadající do této koncepce vykazují kvalitní manipulační schopnosti v rámci vysoké pohyblivosti. [9] [10]



Obr. 7) Angulární struktura [10]

2.5 Významní výrobci PRaM

Na poli průmyslových robotů a manipulátorů podniká celosvětově mnoho významných firem. Předmětem jejich podnikání není pouze výroba a prodej, ale také vývoj a neustálé zlepšování současného portfolia, aby nynější nebo i nově vynalezené roboty a průmyslové manipulátory dokázaly splňovat stále náročnější požadavky zákazníků. V oblasti výroby je pořád kladen větší důraz na vyšší přesnost, rychlejší opakovatelnost a menší nákladnost. Následující seznam zobrazuje přehled předních výrobců podle počtu instalovaných robotů za dobu existence firmy. [11]

1. **FANUC** - 450 000 ks
2. **Yaskawa** - 300 000 ks
3. **ABB** - 300 000 ks
4. **Kawasaki** - 110 000 ks
5. **Nachi** - 100 000 ks
6. **Denso** - 95 000 ks
7. **Kuka** - 80 000 ks
8. **Mitsubishi** - 70 000 ks
9. **Epson** - 55 000 ks
10. **Stäubli** - 45 000 ks

3 NÁVRH KONCEPTU AUTOMATIZACE

Průmyslová revoluce číslo IV nezadržitelně vstupuje na prahy strojních závodů. Podniky, které zamýšlejí udržet do budoucna konkurenceschopnost, již několik let uskutečňují kroky technologického rozvoje na poli automatizace. Hlavním cílem, jak již bylo několikrát zmíněno, je zefektivnit produkci a s ní spojené procesy jako např. pružněji reagovat na požadavky zákazníka, snížit časové prostoje, zredukovat vliv lidského faktoru, a to vše při zachování stávající úrovně jakosti nebo její zlepšení. Velice jednoduše řečeno „zrychlit, zlevnit a více vydělávat“. Avšak tento moderní způsob řízení výroby není vůbec jednoduché aplikovat. Celý výrobní proces je třeba podrobit důkladné analýze a zvážit, zdali implementace těchto řešení se opravdu nabízí jako to nejlepší, viz kapitola 1. [12]

Mezi tři nejčastější metody automatizace patří flexibilní automatizace ve výrobě, pevná automatizace a internet věcí. První možnost, často také označovaná jako pružná automatizace, se vyznačuje charakteristickými vlastnostmi systémů schopných zpracovávat určité předměty v rámci rychlé a flexibilní změny programu. Tento koncept je zbudován především na robotizaci výrobního systému. Druhý případ – pevná automatizace neboli tvrdé automatizované systémy – spočívá ve zpracování jednoho výrobku pro velkosériovou výrobu. Každou pozici ve výrobním procesu obsazují buďto jednoúčelové, anebo stavebnicové obráběcí jednotky. Toto pojetí pokrývá velmi vysokou produktivitu práce, bohužel ale neumožňuje vyrábět variabilnější „typorozměry“. Tento koncept je vhodný pro automaticky řízená pracoviště typu NC a CNC. Třetí v pořadí – internet věcí (Iot = Internet of Things) – umožňuje designérům po celém světě vytvářet sofistikovanější řešení v rámci vybavení a strojů. Zařízení tak dokáže svou funkci samo měřit, zapisovat, znázorňovat, sledovat a dle předchozích parametrů se i automaticky nastavit. V kostce řečeno, jedná se o vše, co je připojeno k síti (zahrnuje i internet) nebo k jiným strojům a pracuje bez nutnosti zásahu člověka. [12] [13]

V rámci návrhu nejúčinnějšího konceptu automatizace pro potřeby této bakalářské práce budou v následujících podkapitolách porovnány dvě varianty pracoviště firmy PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí. První linka je obsluhována operátorem výroby (člověkem) a do protipólu bude postavena totožná linka s šestiosým robotem. Tato rozvaha bude vyhodnocena na základě časů jednotlivých úkonů, předpokládaného výstupu v podobě počtu kusů vyhotovených dílů a celkového ekonomického posouzení.

3.1 Odporové svařování

Jedná se o výrobní linku, která tvoří jeden z mnoha velice důležitých článků sériové výroby PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí, jejímž základem je odporový svařovací lis. Toto pracoviště disponuje značnou univerzálností a produktivitou. Příčinou je poměrně snadná výměna svařovacího přípravku, což má za následek pestrou škálu využití pro charakteristické díly automobilového průmyslu.



Obr. 8) Odporový svařovací lis

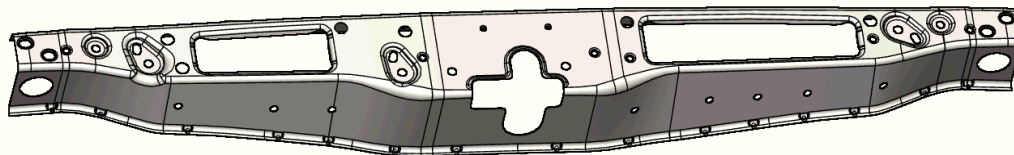
Technika odporového svařování, kdy se kovy spojují bez přídavného materiálu, patří mezi nejstarší a nejpoužívanější druhy svařování vůbec. Hlavními přednostmi jsou nízká cena, jednoduchost technologie, opakovatelnost a vhodnost k automatizování. [14] [15]

Tvorba svaru je závislá na dvou veličinách, a to teple a tlaku. Množství tepla podmiňuje elektrický odpor v místě spojení. Díky odporu vzniká již zmiňované teplo, které způsobí prudký lokální ohřev, roztavení styčných ploch a trvalé spojení rozhraní mezi materiály. [14] [15]

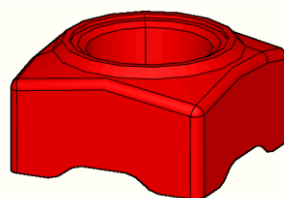
V případě této bakalářské práce hovoříme o takzvaném výstupkovém svařování výlisku a pěti matic, kde spoj vzniká na předem definovaných místech speciálně upravených matic (čtyřbodové spojení – čtyři výstupky). K dokonalému spojení je třeba zajistit rovnoměrné rozdělení elektrického proudu a tlaku mezi všemi zároveň svařovanými výstupky, a to především tak, že součásti musí přesně lícovat již od počátku operace svařování. Největší vlivy z hlediska jakosti tohoto procesu představují samotný výlisek, zejména přesnost

lisování společně s materiálem, jakost matic, konstrukce svařovacího přípravku a lidský faktor v podobě zakládání dílů operátorem linky. [14] [15]

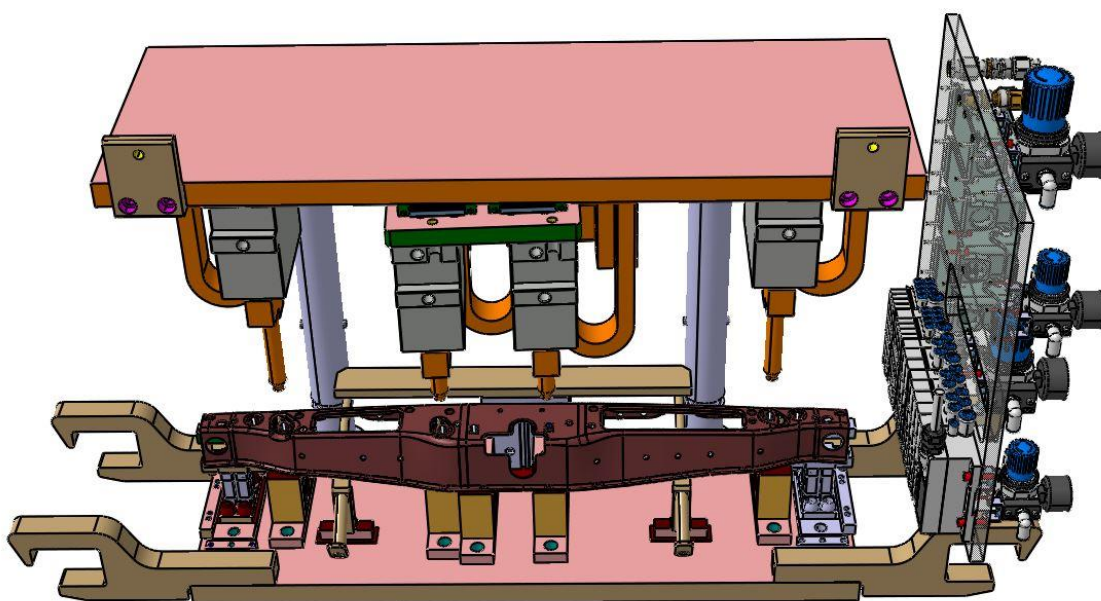
V reálném provozu je tato linka obsluhována operátory výroby, kteří se střídají v osmihodinových pracovních směnách. Tito zaměstnanci vykonávají dle předepsaných směrnic předem dané úkony: odebrání výlisků a pěti matic z gitterboxu a KLT (plastová stohovací přepravka), jejich zakládání do svařovacího přípravku, následné odebrání hotového dílu po dokončeném cyklu svařování a jeho založení do dalšího gitterboxu, viz kapitola 3.1.1.



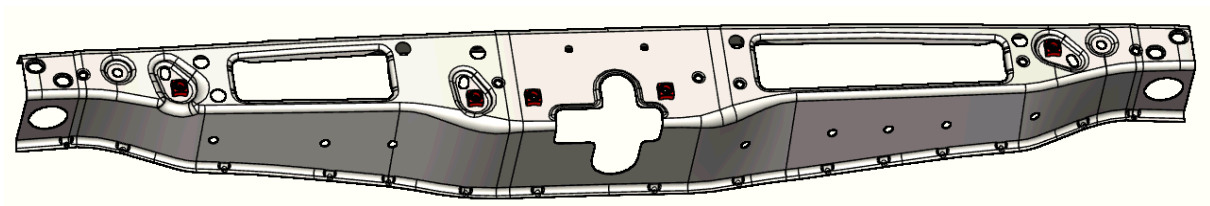
Obr. 9) Výlisek vstupující do operace odporového svařování



Obr. 10) Matice M6 určená k pětinasobnému výstupkovému navaření na výlisek z Obr. 9)



Obr. 11) Konstrukce svařovacího přípravku se založeným výliskem společně s maticemi



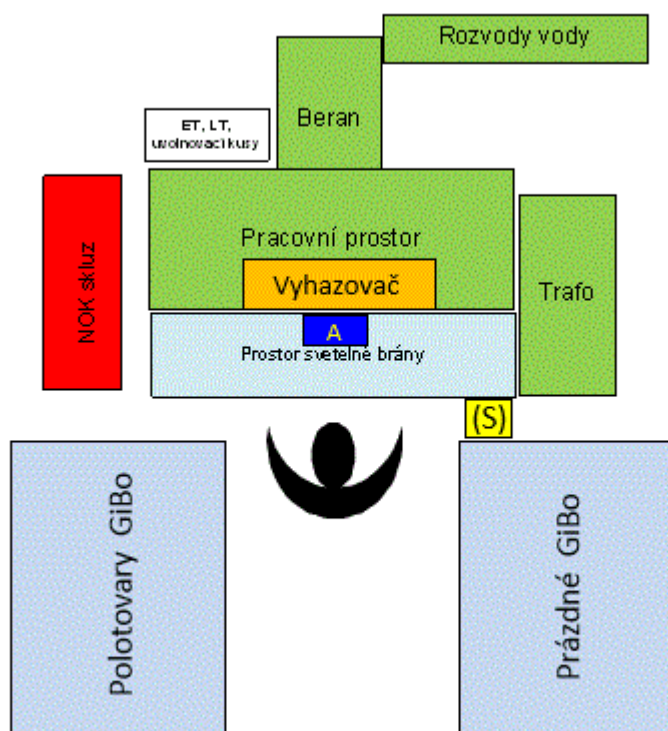
Obr. 12) Dokončená sestava po operaci odporového svařování

3.1.1 Kalkulace Basic MOST (Operátor)

Jako metodiku pro stanovení potřebných časů operátora na jednotlivé operace a výsledný output (výstup v podobě hotových kusů z linky) bylo použito univerzálního nástroje Basic MOST. Zároveň jde o systém vhodný pro analýzu, měření a následnou optimalizaci práce. Tato technika výpočtu pracuje na základě rozložení jednoho výrobního cyklu na individuální činnosti ve výrobě a z nich vyplývající časy. Vychází ze skutečnosti, že při každém úkonu dochází k určitému přemístění objektů. [16]

Celý pracovní cyklus spočívá ve čtyřech základních činnostech operátora, které budou pro potřebu výpočtu dále podrobněji specifikovány. Jsou to:

1. Odebrání 1 ks výlisku z polotovarů GiBo (zkráceně gitterboxu) a 5 ks matic M6 ze zásobníku A.
2. Založení tohoto výlisku a následně 5 ks matic M6 do svařovacího přípravku.
3. Odebrání hotového kusu z vyhazovače, stisknutí tlačítka START(S).
4. Odložení produktu do prázdné GiBo.



Obr. 13) Schéma standardu pracoviště

Jako priorita je mít vždy prázdné svařovací hnízdo po dokončeném pracovním cyklu stroje, aby mohlo dojít k novému založení a spuštění dalšího cyklu. Toto řešení je aplikováno z důvodu největší časové úspory, tedy nejmenší ekonomické zátěže. Z toho vyplývá, že kalkulace je počítána od založení hotového dílu do GiBo, označené jako „Prázdné“. Konstanty jsou voleny dle data karty pro Basic MOST, která je součástí přílohy.

Operátor musí udělat 1 až 2 kroky ke GiBo „Prázdné“, sehnout se a napřímít se o 50 % a dále umístit díl s ustavením.

$$A3 + B3 + G0 + P3 = 3 + 3 + 0 + 3 = 9 \quad (1)$$

V další operaci přejde ke GiBo s polotovary a uchopí jeden výlisek.

$$A3 + B3 + G1 + P0 = 3 + 3 + 1 + 0 = 7 \quad (2)$$

Následuje operace založení výlisku do svařovacího přípravku, na kterou navazuje uložení pěti kusů matic M6 na ustavovací trny. Operátor přejde ke stroji (1 až 2 kroky) a ustaví výlisek. Dále odebere ze zásobníku A dvě matice M6 do jedné i druhé ruky a umístí je na příslušné místo. Tento proces opakuje ještě jednou, poté usadí poslední matici, ale zároveň se natahuje druhou rukou po tlačítku start (S).

$$\begin{aligned} A3 + B0 + G0 + P3 + (A1 + B0 + G1 + A1 + B0 + G1 + P3 + P3) \cdot 2 + \\ + A1 + B0 + G1 + P3 + A1 = \\ = 3 + 0 + 0 + 3 + (1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 3 + 3) \cdot 2 + 1 + 0 + 1 + 3 + 1 = 32 \end{aligned} \quad (3)$$

Jako poslední v pořadí je kalkulován odchod z prostoru světelné brány a spuštění cyklu zmáčknutím tlačítka start (S).

$$A1 + B0 + G1 + A1 + M1 = 1 + 0 + 1 + 1 = 4 \quad (4)$$

Celkový součet jednotlivých operací činí:

$$součet_{celkem} = 9 + 7 + 32 + 4 = 52 \quad (5)$$

Převod na TMU (Time Measure Units) z data karty Basic MOST, pro konečnou hodnotu všech operací v těchto jednotkách je $součet_{celkem}$ vynásoben konstantou deset.

$$součet_{celkemTMU} = součet_{celkem} \cdot 10 = 52 \cdot 10 = 520 \text{ TMU} \quad (6)$$

Celkový čas pohybů operátora v sekundách:

$$t_{operátor} = \frac{\text{součet}_{celkemTMU}}{27,8} = \frac{520}{27,8} \doteq 18,7 \text{ s} \quad (7)$$

Výpočet procesního času stroje vychází ze zkušenosti, která se opírá o dlouhodobou práci s technologií odporového svařování, kdy za současného stavu je kalkulováno navaření pěti matic M6 na výlisek. Avšak rychlost celého pracovního cyklu je omezena rychlostí svařovacích elektrod; navaření první matice s orientováním elektrody trvá 3 s, ostatní čtyři již v průměru 1,7 s pro jednu matici, k čemuž přičítáme 1,5 s k závěrečnému odjetí celého systému.

$$t_{elektrod} = 3 + (4 \cdot 1,7) + 1,5 = 11,3 \text{ s} \quad (8)$$

Výsledek rovnice (8) bude použit pro určení tabulkové konstanty z data karty Basic MOST pro procesní čas stroje, kde je zvolena konstanta X32 z důvodu určité rezervy vzhledem k reálnému stavu. Procesní čas stroje v sekundách se rovná:

$$t_{stroje} = \frac{32 \cdot 10}{27,8} \doteq 11,5 \text{ s} \quad (9)$$

Pracovní cyklus operátora linky je značně omezen zmiňovanou procesní dobou stroje z rovnice (9). Jednotlivé úkony na sebe v realitě plynule nenavazují, a to z důvodů časových ztrát v podobě čekání na dokončení operace svařování. Tento fakt však kalkulace ošetřuje předem spočítaným „prostojem“ operátora, který je následně zahrnut do času úplného cyklu. Základem této úvahy je, že operátor nemůže zakládat díly do pracujícího stroje. Odečteme tedy od procesního času stroje čas pracovníka linky z rovnic (1) a (2), když koná jinou činnost než zakládání výlisku a matic M6 do svařovacího přípravku anebo spouštění cyklu.

$$t_{ztrat} = 32 \cdot 10 - (9 \cdot 10 + 7 \cdot 10) = 160 \text{ TMU} \quad (10)$$

V dalším kroku je tento čas převeden na sekundy a následně je přičtena rezervní jedna sekunda sloužící jako jištění při déle trvajícím časové ztrátě.

$$t_{ztrat_{sek}} = \frac{160}{27,8} + 1 = 5,75 + 1 \doteq 6,75 \text{ s} \quad (11)$$

Konečná délka pracovního cyklu k vyhotovení jednoho dílu se skládá ze součtu časů pohybů operátora a jeho „prostoje“, vynásobených koeficientem bezpečnosti pro montážní stroje PWO Czech Republic a. s., Valašské Meziříčí $k = 1,1$.

$$t_{cyklu} = (t_{operátor} + t_{ztrat_{sek}}) \cdot k = (18,7 + 6,75) \cdot 1,1 = 27,995 \doteq 28 \text{ s} \quad (12)$$

Vzhledem ke zkalkulované délce jednoho pracovního cyklu lze velmi snadno určit počet dílů vyrobených za jednu hodinu.

$$počet_{dílů} = \frac{3\,600}{28} = 128 \text{ ks/hod} \quad (13)$$

Avšak tento výsledek do jisté míry udává zavádějící hodnotu. Je třeba ještě vzít do úvahy procentuální využití stroje samotného. Samotná linka nepracuje 100 % času, jsou na ní plánované údržby, přestavby, předpokládá se do určité míry jistá poruchovost atd. I samotná obsluha linky v podobě operátora musí dodržovat pitný režim, stravovat se a vykonávat ostatní lidské potřeby. Proto je zaveden tzv. koeficient NG (z německého nutzengestaltung = použití konstrukce), který udává procentuální využití stroje. Pro montážní linky firmy PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí tento koeficient vykazuje hodnotu 94 %.

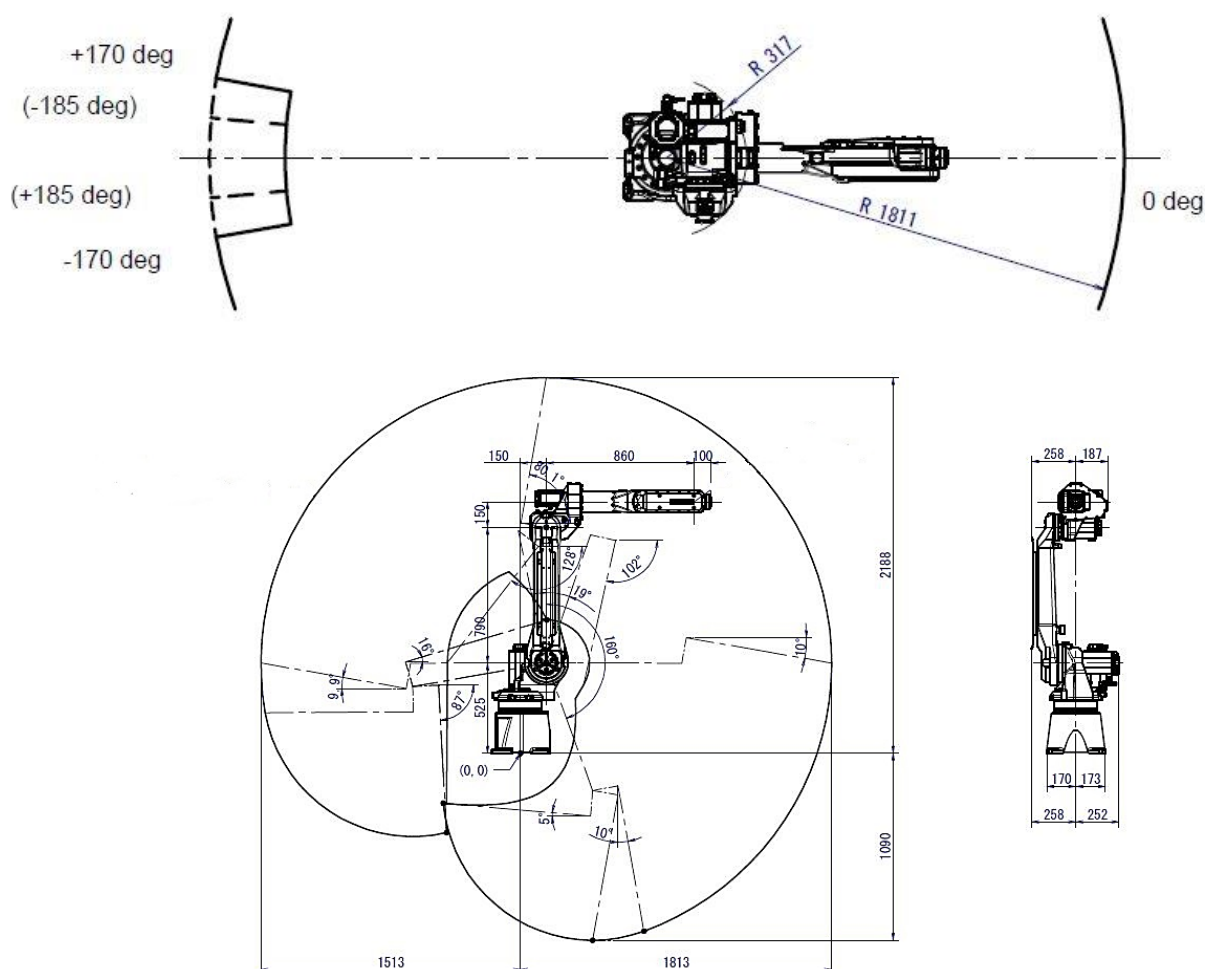
$$počet_{dílů_{NG}} = počet_{dílů} \cdot 0,94 = 128 \cdot 0,94 = 120 \text{ ks/hod} \quad (14)$$

Takto zkalkulovaný hodinový objem nelze však považovat za zcela transparentní hodnotu. Ve skutečném výrobním provozu bude ze začátku operátor vyrábět o pár jednotek kusů méně oproti výsledku kalkulace. S postupem času se předpokládá, že zaměstnanec svůj pracovní výkon zlepší díky zautomatizování daného pracovního postupu a postupně dosáhne této hodnoty.

3.1.2 Simulace pracovního cyklu robotem

Pro nejlepší vyhodnocení aplikace robota namísto operátora výrobní linky neexistuje žádný striktně stanovený postup. Přístupů se nabízí hned několik, například racionální zhodnocení smyslu automatizace, simulace pomocí offline programovacího rozhraní nebo skutečná simulace konkrétní aplikace reálným robotem. Jako nejvhodnější varianta vzhledem k možnostem firmy PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí byla zvolena kombinace racionálního zhodnocení na základě kalkulace a skutečné simulace reálným robotem, vzhledem k značně nevyhovující jednorázové investici do programu Roboguide (offline programovací software společnosti FANUC, která je na poli robotizace firemní standardem v rámci koncernu).

V následujícím experimentu bylo nasimulováno schéma standardu pracovního prostředí jako na Obr. 13) s tím rozdílem, že v tomto případě nebyly kalkulovány pohyby člověka, ale pohyby testovacího robota FANUC M-20iA/20M na robotickém testovacím pracovišti sloužícím k těmto vývojovým analýzám firmě PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí. Předmětem testu bylo modelovat zastoupení všech pohybů člověka robotem v rámci jednoho pracovního cyklu. Zároveň byl nahrazen skutečný svařovací přípravek „měřičskou stavebnicí“ ALUFIX z důvodu potenciální hrozby poškození nebo zničení konkrétního přípravku. Tato stavebnice plně zajistila ustavení do orientované polohy pro odebrání a zakládání dílu. Doba svařovacího cyklu odporového lisu bude brána dle kalkulace z rovnice (8), viz kapitola 3.1.1.



Obr. 14) Ilustrační schéma robotu FANUC M-20iA/20M [17]

Pracovní cyklus experimentu se skládal ze tří základních pohybů:

1. Odebrání 1 ks výlisku z orientované polohy z polotovarů GiBo a jeho umístění do orientované polohy na stavebnici ALUFIX (svařovací přípravek).
2. Modelové pohyby k umístění 5 ks matic M6.
3. Odebrání 1 ks hotového dílu a jeho založení do prázdné GiBo.



Obr. 15) Ilustrační obrázek testovacího dílu orientovaného v „měřičské stavebnici“

Vlastní čas robota byl změřen daným experimentem a výsledkem je $t_{robot} = 13$ s. Celkový čas cyklu robota:

$$t_{cyklu_{robot}} = t_{robot} + t_{elektrod} = 13 + 11,3 = 24,3 \text{ s} \quad (15)$$

Hodinová produkce:

$$počet_{dílu_{robot}} = \frac{3\,600}{24,3} = 148 \text{ ks/hod} \quad (16)$$

I v rámci tohoto experimentu musí být zahrnut koeficient NG pro montážní linky PWO Czech Republic a. s., Valašské Meziříčí.

$$počet_{dílu_{robotNG}} = počet_{dílu_{robot}} \cdot 0,94 = 148 \cdot 0,94 = 139 \text{ ks/hod} \quad (17)$$

Výsledek rovnice (17) vykazuje oproti operátorovi z rovnice (14) o 19 ks/hod lepší výstup v podobě hotových dílů, což samo o sobě indikuje výrazné zlepšení, avšak tato hodnota nevede k definitivnímu rozhodnutí, jestli tento proces automatizovat. Je třeba vzít v úvahu, že provedený experiment proběhl pouze k účelu hrubého odhadu času cyklu linky obsluhované robotem, kde byl použit koncový efektor, který primárně slouží k testovacím účelům a pro tuto konkrétní aplikaci není zcela vyhovující. Ke správnému vyhodnocení je zapotřebí provést alespoň základní ekonomickou analýzu a navrhnout konstrukci vyhovujícího koncového efektoru. Tyto zmíněné věci budou předmětem dalších kapitol a podkapitol této bakalářské práce.

Po retrospektivním vyhodnocení průběhu testu byla vyjasněna hlavní problematika dávkování matic a konstrukce koncového efektoru. Jako první možnost se nabízela automatická dávkovací zařízení od společnosti SEKI pro jednotlivé ustavovací trny svařovacího přípravku, avšak tento způsob představuje obrovský zásah do přestavby stroje, a tím dochází k devalvaci jeho univerzálnosti z důvodů využití pouze pro tento projekt. Druhá navrhovaná eventualita v pořadí představovala koncept koncového efektoru s nastřelováním matic přímo na zmíněné trny. Stinnou stránkou tohoto řešení jsou ovšem výrazné finanční náklady a velice složitá konstrukce. Poslední, třetí způsob vycházel z koncepce multifunkčního koncového efektoru s paralelními chapadly pro uchopení matic. Ze všech těchto uvažovaných možností byla vybrána právě třetí varianta, kde dopravení pěti matic do požadované orientované polohy bude zajištěno vibračním dopravníkem s jednou dráhou, která bude opatřena distančním zařízením k zajištění jednoznačné transparentní polohy pro uchopení.

3.1.3 Ekonomické zhodnocení investice do robota

V rámci této podkapitoly budou přezkoumány finanční náklady na operátora výroby versus robota za pomoci dat poskytnutých společností PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí.

Investice finančních prostředků do automatizace pracoviště nelze vztáhnout pouze na samotný robot. Implementace této technologie zahrnuje mnoho dalších spolu souvisejících položek, které je třeba zajistit z hlediska korektní funkce a bezpečnosti ve výrobě. Tuto cenovou rozvahu zobrazuje následující Tab 1):

Tab 1) Finanční náklady v rámci pořízení šestiosého robota FANUC M-20iA/20M

Položka	Cena [€]
Robot	27 000
Školení	3 000
Příslušenství robotu	5 500
Bezpečnostní prvky	4 500
Oplocení	10 000
Koncový efektor	10 000
Vibrační dopravník	10 000
Instalace	10 000
Celkem	80 000

Vzhledem k celkové výši finančních nákladů robota je zapotřebí vypočítat jeho strojní hodinovou sazbu, aby bylo možno porovnat finanční režie oproti operátorovi výrobní linky, jehož hodinová sazba činí 15 €. Jako základní materiál poslouží roční množství hotového dílu v jednotlivých letech za plánovanou životnost produkce projektu a předpokládané vytížení dané výrobní linky viz Tab 2) a Tab 3).

Tab 2) Základní ekonomická data stroje v rámci životnosti projektu

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Celkem
Kupní cena [€]	80 000	-	-	-	-	-	-	80 000
Výkonnost robota [ks/h]	139	139	139	139	139	139	139	-
Roční množství [ks]	172 061	432 249	423 404	430 017	430 017	350 000	150 000	2 387 748

Předpokládané vytížení výrobní linky je definováno následujícími atributy:

Tab 3) Pracovní vytížení linky

Pracovní den	22,5 hod
Pracovní dny za 1 kalendářní rok	240 dnů
Využití	85 %
Hrubý čas za 1 kalendářní rok*	4 590 hod
Čistý čas za 1 kalendářní rok p. a. 80 %**	3 672 hod

* Hrubý čas za 1 kalendářní rok = pracovní den · pracovní dny za 1 kalendářní rok · využití

** Čistý čas za 1 kalendářní rok p. a. 80 % = hrubý čas za 1 kalendářní rok · 0,8 (p. a. = roční úroková sazba)

Z hodnot předcházející Tab 2) lze jednoduše určit produkční čas pro každý jednotlivý rok, a to pouhým podělením hodnot ročního množství počtem hotových kusů za hodinu.

$$produkce_{2018} = \frac{172\,061}{139} \doteq 1\,238 \text{ hod} \quad (18)$$

$$produkce_{2019} = \frac{432\,249}{139} \doteq 3\,110 \text{ hod} \quad (19)$$

$$produkce_{2020} = \frac{423\,404}{139} \doteq 3\,046 \text{ hod} \quad (20)$$

$$produkce_{2021} = \frac{430\,017}{139} \doteq 3\,094 \text{ hod} \quad (21)$$

$$produkce_{2022} = \frac{430\,017}{139} \doteq 3\,094 \text{ hod} \quad (22)$$

$$produkce_{2023} = \frac{350\,000}{139} \doteq 2\,518 \text{ hod} \quad (23)$$

$$produkce_{2024} = \frac{150\,000}{139} \doteq 1\,079 \text{ hod} \quad (24)$$

Tab 4) Náklady a stanovení výkonu za rok

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Celkem
Produkční čas [hod/rok]	1 238	3 110	3 046	3 094	3 094	2 518	1 079	17 178
Využití linky hrubý čas [pracovní dny/rok] *	55	138	135	137	137	112	48	-
Využití linky čistý čas [pracovní dny/rok] **	69	173	169	172	172	140	60	-
Odpisy lineárně [€] ***	13 333	13 333	13 333	13 333	13 333	13 333	-	80 000
Kalkulované úrokové sazby [€] ****	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	14 000
Náklady na údržbu [€] *****	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	28 000
Náklady na prostor [€] *****	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	7 000
Náklady na energie [€] *****	-	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	-	5 000
Ostatní náklady [€] *****	6 000	16 000	15 000	15 000	15 000	13 000	5 000	85 000
Celkem	26 333	37 333	36 333	36 333	36 333	34 333	12 000	219 000

Všechny údaje v tabulce jsou zaokrouhlovány na celé tisíce v rámci kalkulačních formulářů společnosti PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí s výjimkou lineárních odpisů, viz níže.

- Výpočet hrubého času využití linky – pouze produkce (*):

$$\text{využití linky hrubý čas} = \frac{\text{produkční čas [hod/rok]}}{\text{pracovní den z Tab.3}} \quad [\text{pracovní dny/rok}] \quad (25)$$

- Výpočet čistého času využití linky, produkce včetně přestaveb, poruch atd. (**):

$$\text{využití linky čistý čas} = \frac{\text{produkční čas [hod/rok]}}{\text{pracovní den} \cdot 0,8 \text{ z Tab.3}} \quad [\text{pracovní dny/rok}] \quad (26)$$

- Lineární odpisy v průběhu šesti let z pořizovací hodnoty stroje (***):

$$\text{odpisy} = \frac{80\,000}{6} \doteq 13\,333 \text{ €} \quad (27)$$

- Kalkulovaná 6% úroková sazba z poloviny celkové pořizovací hodnoty stroje z Tab. 1), konečný výsledek je zaokrouhlen na celé tisíce (****).

$$\text{úrok}_{6\%} = \frac{80\,000}{2} \cdot 0,06 = 2\,400 \doteq 2\,000 \text{ €} \quad (28)$$

- Pětiprocentní finanční náklady utracené za životnost projektu v rámci údržby, počítané z celkové pořizovací ceny (*****).

$$\text{náklady}_{\text{údržba}} = \frac{80\,000 \cdot 5}{100} = 4\,000 \text{ €} \quad (29)$$

- Náklady související s obsazením potřebného prostoru, cena za 1 m² činí 50 € na předpokládané rozloze pracoviště 15 m² (*****).

$$\text{náklady}_{\text{prostor}} = 15 \cdot 50 = 750 \doteq 1\,000 \text{ €} \quad (30)$$

- Náklady spojené s energiemi jsou počítány pro pět let životnosti projektu z celkových sedmi, a to z důvodu toho, že v prvním a posledním roce nebude výroba probíhat celý kalendářní rok, jedná se o tzv. nabíhání a vybíhání projektu. Předpokládaná roční spotřeba je 3 kW při ceně 0,07 € za 1 kW (*****).

$$\text{náklady}_{\text{energie}} = \text{produkční čas} \cdot 3 \cdot 0,07 \text{ [€]} \quad (31)$$

- Ostatní náklady vyplývající z výrobního provozu během životnosti projektu, tato položka má stanovenou sazbu 5 €/hod (*****).

$$náklady_{ostatní} = produkční čas \cdot 5 \text{ [€]} \quad (32)$$

Konečné výsledky v rámci jednotlivých let životnosti tohoto projektu jsou přehledně zpracovány v Tab 4). Finální hodinová sazba robotu je vymezena ze součtu všech nákladů podělením celkového produkčního času.

$$sazba_{robotu} = \frac{náklady_{celkem}}{produkční čas_{celkem}} = \frac{219\,000}{17\,178} \doteq 12,75 \text{ €} \quad (33)$$

Z tohoto výsledku jednoznačně vyplývá, že režie robota vychází oproti člověku (operátor 15 €) mnohem výhodněji. Pro konečné finanční zhodnocení je však nutné určit i finanční náklady samotné produkce řízené operátorem a robotem v závislosti na jejich hodinové sazbě a výstupu v podobě výroby jednoho hotového dílu, dle PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí. Tato metodika se opírá o výsledek kalkulace Basic MOST z rovnice (14) a výsledek simulace pracovního cyklu robotem z rovnice (17).

$$výrobní náklady_{operátor} = \frac{1}{počet_{dílu_{NG}}} \cdot sazba_{operátor} = \frac{1}{120} \cdot 15 = 0,125 \text{ €} \quad (34)$$

$$výrobní náklady_{robot} = \frac{1}{počet_{dílu_{NG}}} \cdot sazba_{robot} = \frac{1}{139} \cdot 12,75 \doteq 0,09173 \text{ €} \quad (35)$$

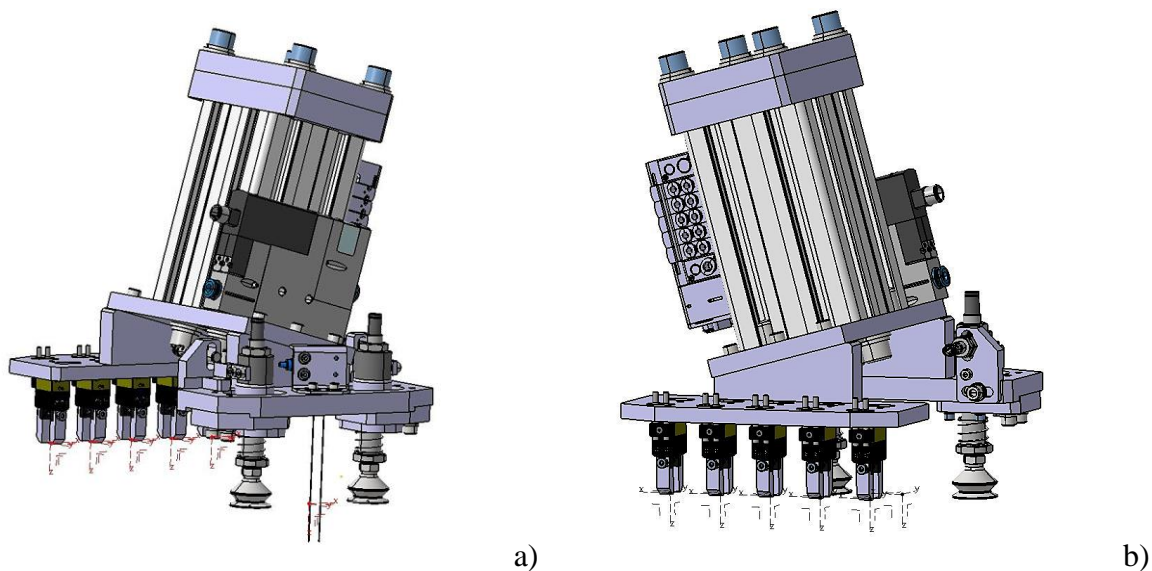
Následně je velice jednoduchým výpočtem možné zjistit, kolik finančních prostředků lze implementací robota ušetřit v rámci výrobního procesu, a to odečtením výrobních nákladů robota od výrobních nákladů operátora na jeden kus za sedmiletou životnost projektu, kde celkový objem činí 2 387 748 dílů z Tab 2).

$$\begin{aligned} úspora &= (výrobní náklady_{operátor} \cdot 2\,387\,748) - (výrobní náklady_{robot} \cdot 2\,387\,748) = \\ &= (0,125 \cdot 2\,387\,748) - (0,09173 \cdot 2\,387\,748) \doteq 79\,440 \text{ €} \end{aligned} \quad (36)$$

4 NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU

Při návrhu nejefektivnějšího řešení patřičného koncového efektoru byla zohledněna tvarová charakteristika dílů určených pro tuto aplikaci, velikost efektoru a jeho váha kvůli vlastnostem robota FANUC M-20iA/20M. Vzhledem k manipulační úloze robota odebírání, ukládání výlisku a matic se nabízí několik možností aktivních uchopovacích prvků. V případě matic byla v kapitole 3.1.2 jednoznačně vybrána mechanická paralelní chapadla, avšak tvarová složitost výlisku vyžaduje přesnější analýzu.

Tvar výlisku disponuje na své vrchní straně rovnými plochami, které jsou vhodné pro techniku úchopu magnetem nebo podtlakem, dále se zde nachází značné otvory, u nichž přichází v úvahu mechanická varianta jako u předešlých matic. U první možnosti magnetického uchopování bylo provedeno několik testů průmyslových manipulačních magnetů s negativním výsledkem. Bylo zjištěno, že sebemenší tvarová nepřesnost z předcházející výrobní technologie lisování a olejový film na povrchu výlisku způsobují to, že nelze těmito magnety dosáhnout pro tuto aplikaci požadovaných vlastností pevného a přesného úchopu. Od mechanického uchopování bylo ustoupeno po rozboru funkce daných otvorů, které plní důležitou úlohu v konečné sestavě automobilu a jejich kontura se nesmí v žádném případě poškodit. Technologie úchopu podtlakem byla zhodnocena jako nejvhodnější varianta, jejímž největším benefitem je možnost kompenzace přesnosti úchopu a společné pneumatické ovládání s mechanickými chapadly určenými pro matice, nicméně za stinnou stránku věci lze považovat údržbu z pohledu předpokládané časté výměny olejových filtrů.



Obr. 16) Sestava koncového efektoru a) vakuová část b) mechanická část

Průmyslový robot FANUC M-20iA/20M

Počet kontrolovaných os robota: 6

Maximální nosnost: 20 kg

Maximální dosah: 1813 mm

Hmotnost robota: 250 kg

Opakovatelnost: $\pm 0,03^\circ$

Tab 5) Vlastnosti jednotlivých os robota [18]

Osa	Rozsah pohybu [°]	Maximální rychlost [°/s]
J1	370	195
J2	260	175
J3	460,6	180
J4	400	405
J5	280	405
J6	900	615



Obr. 17) Robot FANUC M-20iA/20M [19]

4.1 Návrh vakuové části koncového efektoru (výlisek)

Bezpečnou manipulaci s objektem lze zabezpečit pouze vypočítáním potřebné uchopovací síly tak, aby během manipulace nedošlo k samovolnému uvolnění objektu. Pro daný výrobní proces byly navrženy dvě vakuové přísavky od firmy FESTO z pohledu lepší stability, silnějšího úchopu a bezpečnější manipulace na základě vlastností plechového výlisku vyobrazeného na Obr. 9). Protože firma FANUC neuvádí translační zrychlení robota, je pro potřeby výpočtu sil kalkulováno s maximálním předpokládaným zrychlením $a = 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

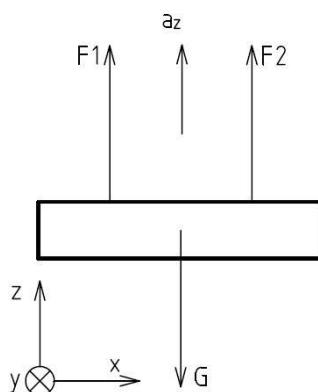
Vlastnosti výlisku

$m = 0,4818 \text{ kg}$

4.1.1 Vakuová přísavka

Odvození vzorců pro výpočet uchopovacích sil

Pohyb v ose z+



Obr. 18) Silové uvolnění při pohybu v kladném směru osy z

$$F_1 = F_2 \quad (37)$$

$$\sum F_x: 0 = 0 \quad (38)$$

$$\sum F_y: 0 = 0 \quad (39)$$

$$\sum F_z: F_1 + F_2 - G = m \cdot a_z \quad (40)$$

$$2 \cdot F_1 - m \cdot g = m \cdot a_z$$

$$F_1 = F_2 = \frac{m \cdot (g + a_z)}{2}$$

$$F_1 = F_2 = \frac{0,4818 \cdot (9,81 + 14)}{2} = 5,735829 \text{ N}$$

Pro pohyby v osách x a y nelze tuto sílu jednoznačně spočítat, a proto bylo zvoleno řešení naddimenzováním potřebné minimální síly, a to především z bezpečnostního hlediska. Z katalogového listu firmy FESTO byla vybrána skládaná vakuová přísavka typu VASB-30-1/8-NBR (viz vlastnosti z Tab 6), která disponuje poměrně velkou silou, možností kompenzace vzhledem k typu konstrukce měchu a v neposlední řadě je její spolehlivá funkčnost ověřena z testovacího robotického pracoviště firmy PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí.

Tab 6) Obecné technické údaje přísavky FESTO typu VASB-30-1/8-NBR [20]

Ø přísavky [mm]	Konstrukce	Připojení vakua	Upevnění	Jmen. světlost [mm]	Účinný Ø Přísavky [mm]	Tvrdost [Shore]	Odtrhovací síla při 70 % vakua [N]	Hmotnost [g] NBR
30	připojení vakua shora, kruhový tvar, 1,5 měchu	G ^{1/8}	Připojovací závit	3	25	73	34	15



Obr. 19) CAD model vakuové přísavky typu VASB-30-1/8-NBR [21]

4.1.2 Vakuový ejektor

K zajištění odpovídající funkce tvorby podtlaku je zapotřebí zvolit vyhovující vakuový ejektor. Pro tento druh aplikace byl vybrán inteligentní ejektor typu OVEM od firmy FESTO, konkrétně typ OVEM-07-L-B-QO-OE-N-2P, který se vyznačuje tím, že nepotřebuje bypass okruh a je schopný hlídat nastavenou nebo kalibrovanou hodnotu vytvářeného vakua integrovaným vakuovým čidlem. Jestliže je požadovaná hladina provozního tlaku dosažena nebo v důsledku nesprávné funkce dosažena není, např. pádem výlisku nebo z důvodu netěsnosti, vydá vakuové čidlo elektrický signál. [22]

Zdánlivě nákladná investice do tohoto typu ejektoru má své výhody. Pomocí funkce úspory vzduchu toto zařízení automaticky blokuje budování vakua. Jestliže je dosaženo požadované nominální hodnoty, pak ztrátě vakua zabráňuje zpětný ventil. Přesto však vlivem drobných úniků (např. kvůli drsnosti povrchu manipulovaného předmětu) nakonec k pomalé ztrátě dojde. Pokles hladiny vakua pod jmenovitou hodnotu automaticky znovu sepne jeho vytváření, které pokračuje tak dlouho, dokud není dosaženo nastavené mezní hodnoty.

Zároveň je tento ejektor opatřen samostatně ovladatelným vyfukovacím impulsem, jenž zajišťuje lepší odpojení stykových ploch výlisku od vakuových přísavek. [22]

Princip funkce ejektoru pracuje na bázi „v klidu otevřen“, což znamená, že z hlediska bezpečnosti, pokud vypadne elektrický proud, je ejektor schopen manipulovaný předmět udržet, uzavření je dosaženo elektrickým impulsem. [22]

Poslední přednost tohoto typu ejektoru je integrovaný filtr, což poskytuje značnou výhodu při úspoře místa v rámci konstrukčního návrhu koncového efektoru pro danou aplikaci této bakalářské práce. [22]

Tab 7) Charakteristika vakuového ejektoru FESTO OVEM-07-L-B-QO-OE-N-2P [22]

Připojení pro stlačený vzduch	Nástrčné připojení
Odvětrání	Integrovaný tlumič hluku
Klidová poloha	Bez proudu otevřeno
Vyfukovací impuls	Automaticky
Vakuové čidlo	Ano
Funkce pro úsporu stlačeného vzduchu	Ano
Elektrický výstup 1	PNP
Elektrický výstup 2	PNP
Indikace stavu	Displej
Jednotka zobrazení vakua	[bar]
Jmenovitá světlost Lavalovy trysky	0,70 mm
Jmenovitá hodnota provozního tlaku	6 bar



Obr. 20) Ilustrační obrázek vakuového ejektoru typu FESTO OVEM [22]

4.1.3 Senzorika vakuové části efektoru

Aby nedošlo během automatického provozu výroby k nehodě, při které by mohl robot poškodit sám sebe nebo koncový efektor, a aby byl garantován plnohodnotný chod procesu, musí být do konstrukčního návrhu efektoru zapracovány konkrétní druhy snímačů.

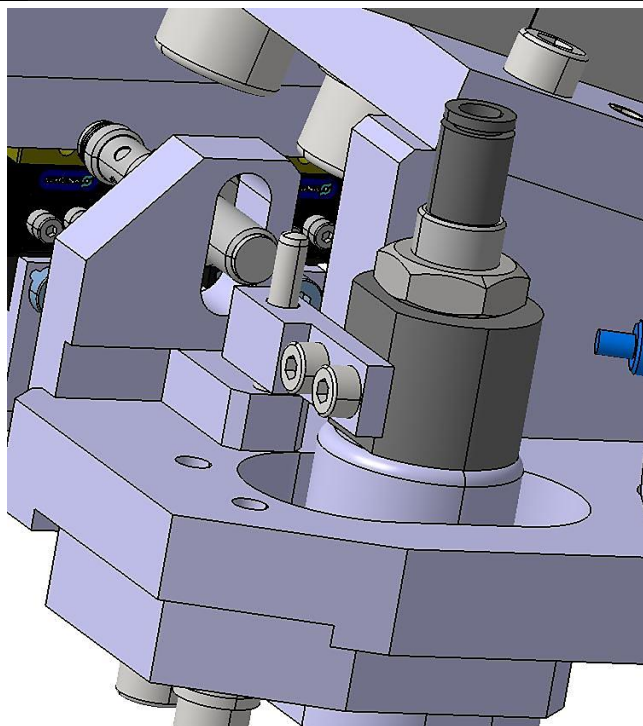
V průběhu pracovní posloupnosti odebrání, manipulace a ukládání výlisku hrozí potenciální vznik kolize robotu s efektem v záporném směru osy z s podstavou gitterboxu, eventuálně se základnou svařovacího přípravku. Jestliže by robot v tomto případě pokračoval v daném úkonu, riziko poškození efektoru nebo některé z částí výrobní linky se stává zcela reálné. Aby se předešlo tomuto nepříznivému stavu a pravděpodobnost vzniku této nežádoucí situace byla zredukována na minimum, byly do konstrukce efektoru zapracovány dva indukční snímače od společnosti SICK, konkrétně typu IME08-02BPSZT0S, které zajišťují při jakémkoliv nárazu okamžité zastavení pohybu robota.



Obr. 21) Indukční čidlo SICK IME08-02BPSZT0S [23]

Tab 8) Technické údaje indukčního čidla SICK IME08-02BPSZT0S [23]

Způsob provedení	Metrický konstrukční tvar
Konstrukce pouzdra	Standard
Velikost závitů	M8 1
Průměr	8 mm
Snímací vzdálenost S_n	2 mm
Zajištěná snímací vzdálenost S_a	1,62 mm
Montáž kovu	Lícovaný
Spínací frekvence	4 000 Hz
Druh připojení	Konektor M8, 3pinový
Spínací výstup	PNP
Funkce výstupu	Spínací kontakt
Elektrické provedení	DC 3 - vodič
Krytí	IP67



Obr. 22) Umístění indukčního snímače SICK IME08-02BPSZT0S na koncovém efektoru

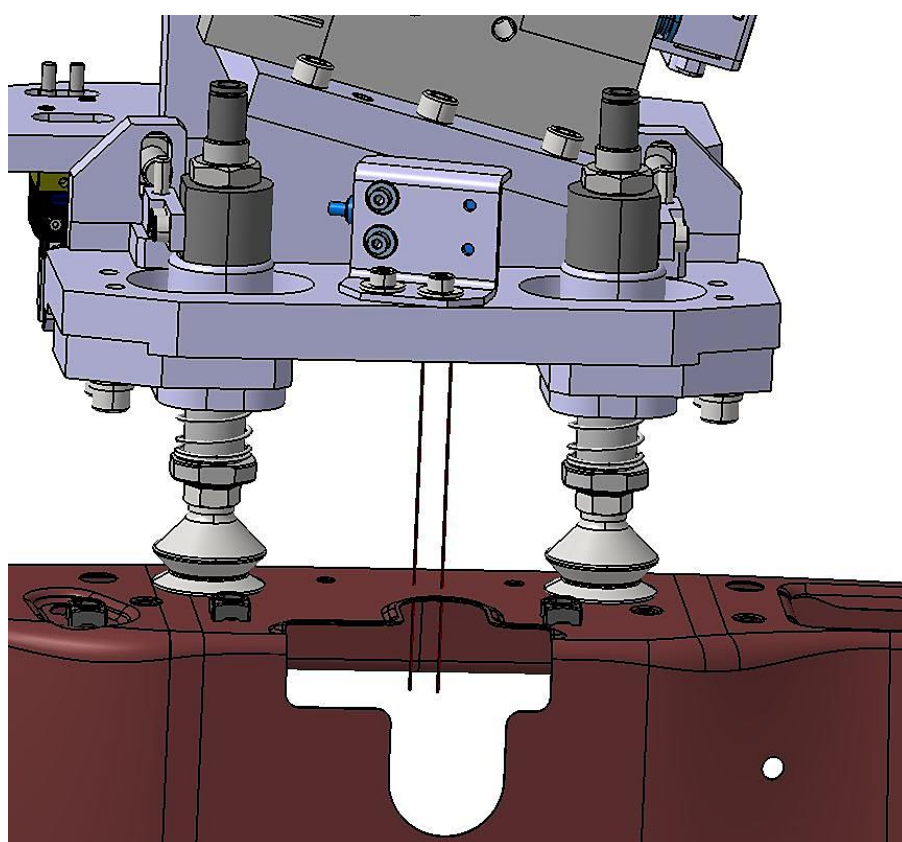
Informace o přesném nahledání odebíraného výlisku poskytuje optoelektronický snímač SICK WTB4S-3P3131. Tento reflexní světelný snímač funguje na principu zaclonění pozadí. Jestliže je výlisek na určených souřadnicích nahledán správně, robot dostává signál, že vše pracuje dle plánu, jakmile ale k zaclonění (např. kvůli chybějícímu dílu) nedojde nebo se robot ocitne na jiných souřadnicích, než je v programu určeno, zahlásí senzor chybu.



Obr. 23) Optoelektronický snímač WTB4S-3P3131 [24]

Tab 9) Vlastnosti optoelektronického snímače WTB4S-3P3131 [24]

Princip senzoru / detekce	Reflexní světelný snímač, Zaclonění pozadí
Rozměry (Š x V x H)	12,2 x 41,8 x 17,3 mm
Provedení pouzdra (výstup světla)	kvádr
Snímací vzdálenost	4–120 mm
Snímací dosah	10-120 mm
Vysílač světla	PinPoint LED
Velikost světelného bodu (vzdálenost)	ø 2,5 mm (50 mm)
Vlnová délka	650 nm
Nastavení	Potenciometr, 5 otáček



Obr. 24) Detail připojení snímače WTB4S-3P3131 na koncovém efektoru

4.2 Návrh mechanické části efektoru (matice)

Obdobně jako u vakuové části efektoru z podkapitoly 3.1 je zapotřebí vypočítat minimální sílu k bezpečné manipulaci s maticemi. V této konfiguraci byla navržena pětice paralelních chapadel od firmy SCHUNK na základě rozměrů dané matice M6 (vyobrazené na Obr. 10), pozitivní zkušenosti s firmou SCHUNK u PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí a výpočtů v následující podkapitole 4.2.1. Translační zrychlení $a = 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Vlastnosti matice

$m = 0,002 \text{ g}$

délka strany = $10_{-0,27}^0 \text{ mm}$

výška matice = $4,85 \pm 0,15 \text{ mm}$

výška svařovacího výstupku = $0,6 \pm 0,1 \text{ mm}$

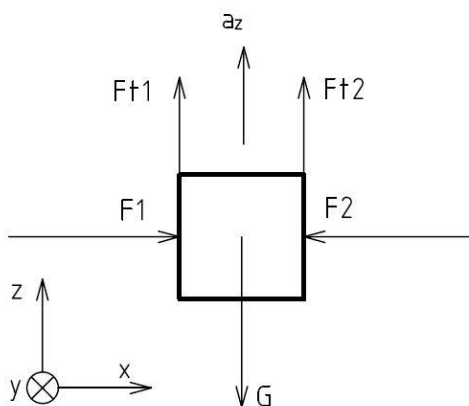
druh závitu = M6 6G

koeficient tření = 0,1

4.2.1 Paralelní chapadlo

Odvození vzorců pro výpočet uchopovacích sil

Pohyb v ose z+



Obr. 25) Silové uvolnění při pohybu v kladném směru osy z

$$\sum F_x: F_1 - F_2 = 0 \quad (41)$$

$$F_1 = F_2$$

$$\sum F_y: 0 = 0 \quad (42)$$

$$\sum F_z: Ft_1 + Ft_2 - G = m \cdot a_z \quad (43)$$

$$F_1 \cdot f + F_2 \cdot f - m \cdot g = m \cdot a_z \Rightarrow F_2$$

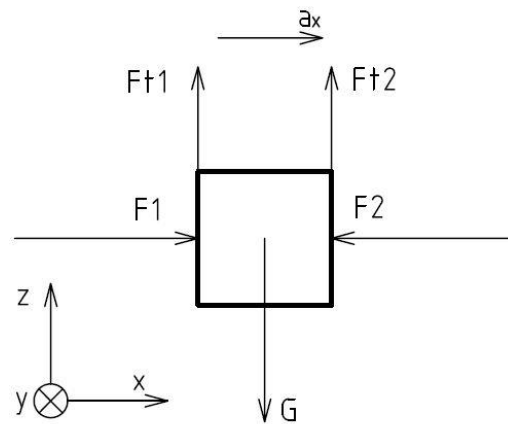
$$F_2 = m \cdot (a_z + g) \cdot \frac{1}{2f}$$

$$F_2 = 0,002 \cdot (14 + 9,81) \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,1} = 0,2381 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2$$

$$F_1 = 0,2381$$

Pohyb v ose x+



Obr. 26) Silové uvolnění matice při pohybu v kladném směru osy x

$$\Sigma F_y: 0 = 0 \quad (44)$$

$$\Sigma F_z: Ft_1 + Ft_2 - G = 0 \quad (45)$$

$$F_1 \cdot f + F_2 \cdot f - m \cdot g = 0 \Rightarrow F_2$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g}{f} - F_1$$

$$\Sigma F_x: F_1 - F_2 = m \cdot a_x \quad (46)$$

$$F_1 - \frac{m \cdot g}{f} + F_1 = m \cdot a_x \Rightarrow F_1$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a_x + g \cdot \frac{1}{f})$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 0,002 \cdot (14 + 9,81 \cdot \frac{1}{0,1})$$

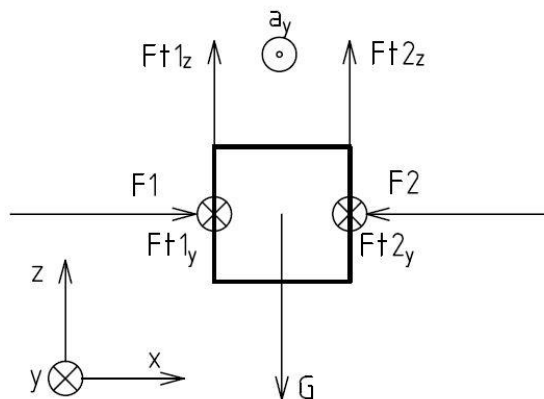
$$F_1 = 0,1121 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{m \cdot g}{f} - F_1$$

$$F_2 = \frac{0,002 \cdot 9,81}{0,1} - 0,1121 \text{ N}$$

$$F_2 = 0,0841 \text{ N}$$

Pohyb v ose y-



Obr. 27) Silové uvolnění při pohybu v záporném směru osy y

$$\sum F_X: F_1 - F_2 = 0 \quad (47)$$

$$F_1 = F_2$$

$$\sum F_y: Ft_{1y} + Ft_{2y} = -m \cdot a_y \quad (48)$$

$$F_2 \cdot f + F_2 \cdot f = -m \cdot a_y \Rightarrow F_2$$

$$F_1 = F_2 = -\frac{m \cdot a_y}{2 \cdot f}$$

$$F_1 = F_2 = -\frac{0,002 \cdot 14}{2 \cdot 0,1} = -0,14 \text{ N}$$

$$\sum F_Z: Ft_{1z} + Ft_{2z} - G = 0 \quad (49)$$

$$F_2 \cdot f + F_2 \cdot f = m \cdot g \Rightarrow F_2$$

$$F_1 = F_2 = \frac{m \cdot g}{2 \cdot f}$$

$$F_1 = F_2 = \frac{0,002 \cdot 9,81}{2 \cdot 0,1} = 0,981 \text{ N}$$

Výsledné síly pro jednotlivé směry os x, y, z vycházejí v obdobných a zároveň velice nízkých hodnotách. Společnost SCHUNK nabízí nepřehledné množství druhů paralelních mechanických chapadel, avšak žádné z nich nedisponuje tak nízkými silami sevření manipulovaného objektu, což zároveň poskytuje určitou výhodu na poli dimenzování z hlediska bezpečnosti.

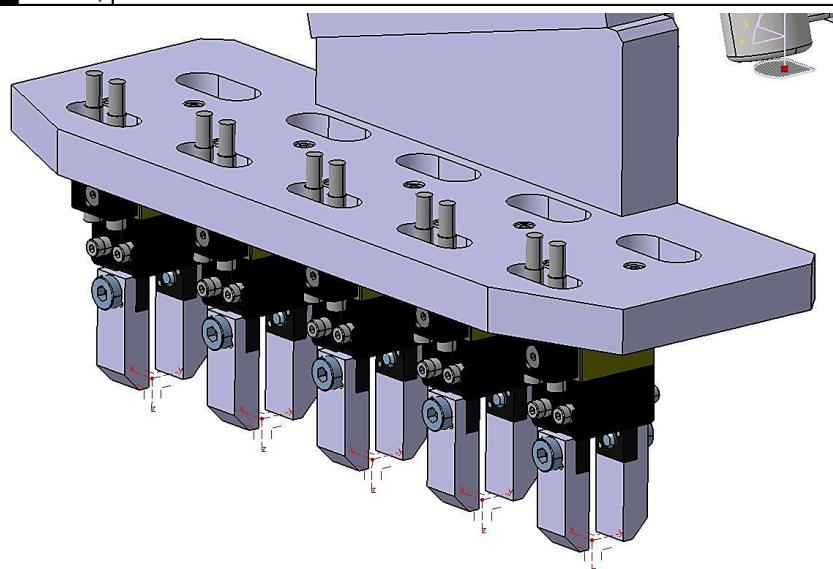
Pro účely této bakalářské práce bylo zvoleno chapadlo SCHUNK MPG-plus 20-AS, které splňuje silové i rozměrové požadavky vzhledem k vlastnostem matice. Velkou předností tohoto mechanického chapadla je, že součástí své konstrukce disponuje zpětnou pružinou, která při výpadku dodávaného tlaku zabrání uvolnění manipulovaného předmětu a jeho následnému pádu na zem.



Obr. 28) Paralelní mechanické chapadlo SCHUNK MPG-plus 20-AS [25]

Tab 10) Přehled vybraných vlastností SCHUNK MPG-plus 20-AS [25]

Síla zavření [N]	42
Min. síla pružiny [N]	8
Váha [kg]	0,042
Doporučená váha man. předmětu [kg]	0,17
Jmenovitá hodnota tlaku [bar]	6
Čas zavření/otevření [s]	0,012/0,018
Čas zavření/otevření pružiny [s]	0,06
Max. délka kleštiny [mm]	25
Max. rozevření [mm]	13
Max. sevření [mm]	7



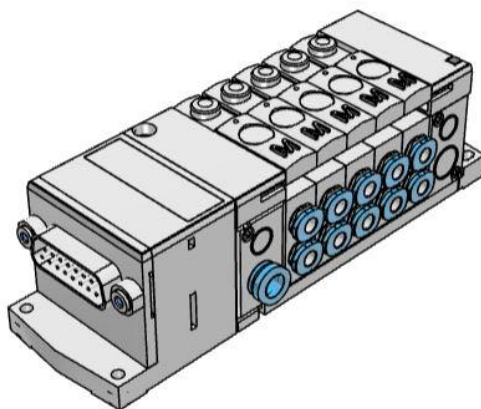
Obr. 29) Detail připojení mechanického chapadla SCHUNK MPG-plus 20-AS

4.2.2 Návrh ovládacího ventilu

Dle pojetí konceptu automatizace v podkapitole 3.1.2 budou matice transportovány vibračním dopravníkem jednou dráhou a separačním zařízením rozděleny do pěti orientovaných pozic. Na základě takto nastavených podmínek je nutno zvolit vhodný typ ovládacího ventilu.

V první fázi odebrání orientovaných matic je požadováno, aby se všech pět mechanických chapadel v jednom okamžiku otevřelo a následně zavřelo již s maticemi. Následné zakládání na ustavovací trny svařovacího přípravku bude probíhat pro každou matici odděleně.

Pro takto definovaný typ aplikace byl vybrán ventilový blok od společnosti FESTO, model 80P-10-1MS-PF-N-SLG-5M, a to nejen z důvodů zabezpečení požadované činnosti, ale i pro své prostorové uspořádání, které se slučuje s požadavky na velikost koncového efektoru. Tento ventilový blok se skládá z pěti monostabilních 5/2 ventilů, jež dokáží nezávisle pracovat jeden na druhém, s principem funkce „v klidu otevřeno“.

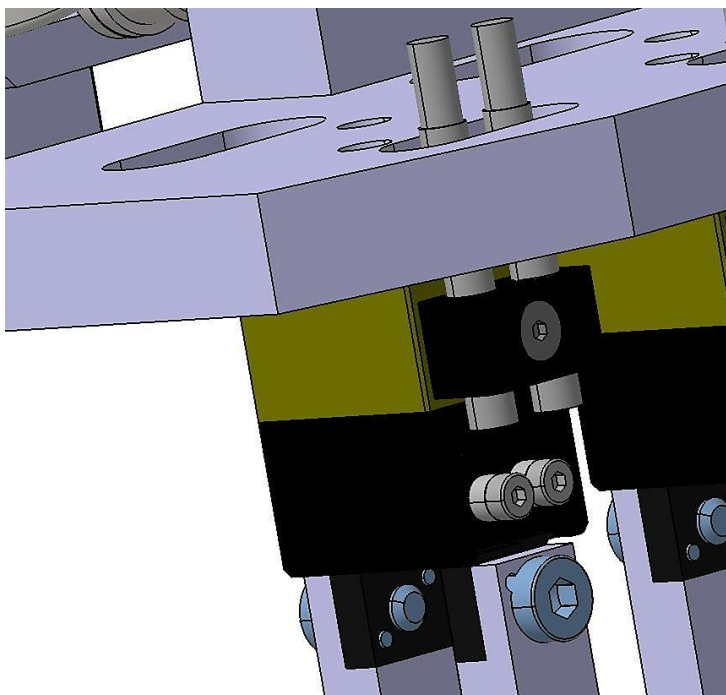


Obr. 30) Ventilový blok 80P-10-1MS-PF-N-SLG-5M [26]

4.2.3 Senzorika mechanické části efektoru

Stejně jako v podkapitole 4.1.3 je i v mechanickém úseku efektoru nezbytné navrhnout snímač k ošetření přesného pracovního chodu odebrání a ukládání matic. Robot musí vědět, jestli při požadovaném úkonu matici odebral a uložil či nikoliv.

Za tímto účelem bylo vybráno indukční čidlo polohy SCHUNK IN 40-S-M8, doporučené výrobcem přímo k tomuto typu chapadla. Senzory detekují pohyby kleštin chapadla při plně otevřeném a plně uzavřeném stavu. Zcela otevřené kleštiny jsou nezbytné pro přesné odebrání matic, avšak poloha odpovídající správnému odebrání se nachází mezi úplně otevřeným a úplně uzavřeným stavem. Maximálně sevřené chapadlo je v této logice nežádoucí neboli jde o chybný stav.

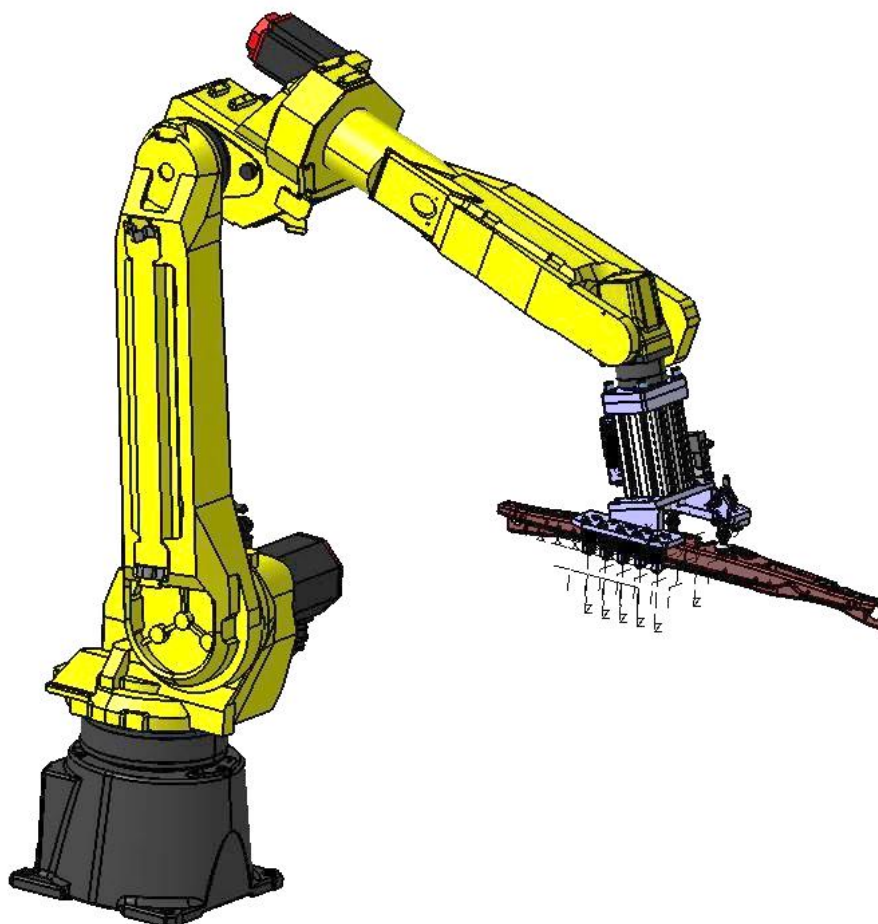


Obr. 31) Umístění čidel SCHUNK IN 40-S-M8 na chapadlech koncového efektoru

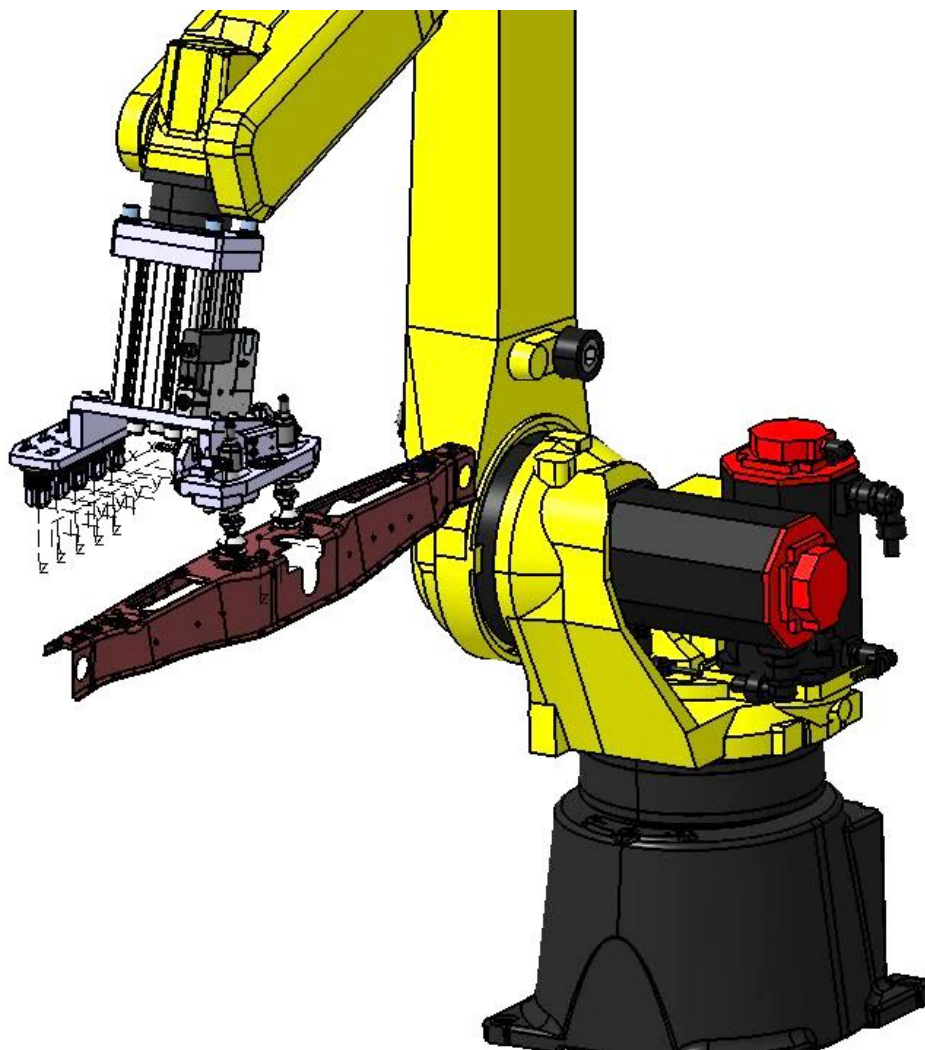
Tab 11) Vybraná technická data čidla SCHUNK IN 40-S-M8 [27]

Spínací funkce	Spínací
Typ spínání	PNP
Spínací vzdálenost [mm]	0,8
Váha [kg]	0,04
Max. spínací frekvence [Hz]	3000

4.3 Sestava robotu



Obr. 32) Sestava koncového efektoru s robotem FANUC M-20iA/20M



Obr. 33) Sestava koncového efektoru s robotem-detail FANUC M-20iA/20M

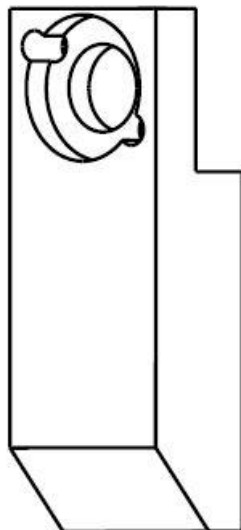
5 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ KONCOVÉHO EFEKTORU

Výkresová dokumentace i kompletní 3D model koncového efektoru byly vytvářeny v softwaru Catia V5 2016. Tento 3D konstrukční program je u společnosti PWO Czech Republic a.s. Valašské Meziříčí koncernovým standardem. Licenční typ Catia V5 poskytnutý k vypracování této bakalářské práce nezahrnuje např. tvorbu plechu a jeho rozvinu, proto v případě některých dílů došlo pouze k zjednodušené formě vyhotovení konkrétního výkresu.

Pro potřebu této kapitoly byly vybrány pouze stěžejní části koncového efektoru. Ucelený soubor technické dokumentace včetně rozpisky materiálu je umístěn do příloh.

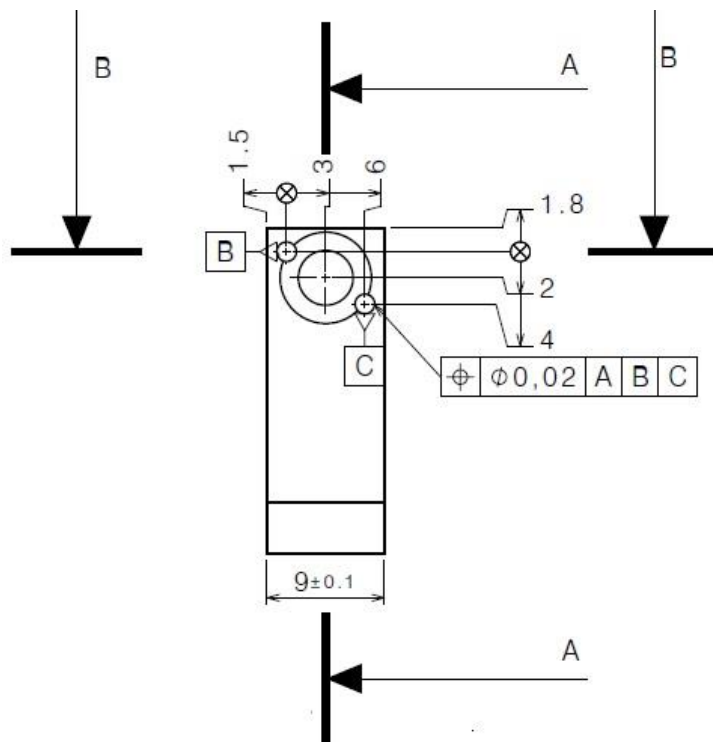
5.1 Čelisti mechanického chapadla SCHUNK MPG-plus 20-AS

Jelikož druh matice určený pro tento projekt disponuje pravidelným čtyřstěným půdorysem o stěně délky cca 10 mm, byla při konstrukčním návrhu čelistí zvolena značně jednoduchá koncepce.

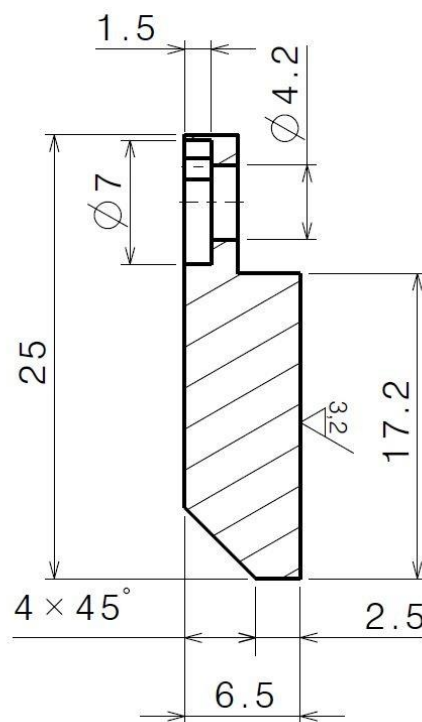


Obr. 34) Izometrický pohled čelisti mechanického chapadla

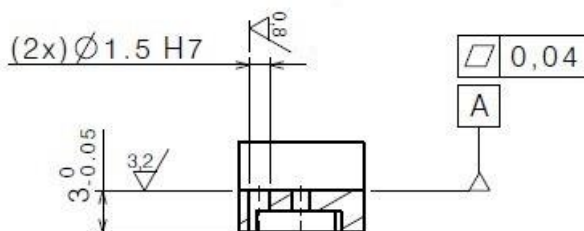
Důraz je kladen především na polohu kolikových děr, jejich průměr a drsnost, tyto atributy slouží jako základní připojení čelistí k mechanickému chapadlu. Další stěžejní částí je rovinnost a drsnost stykové plochy k pacce chapadla. Délka čelisti je 25 mm, a to z důvodu doporučené maximální délky výrobcem chapadla SCHUNK.



Obr. 35) Přední pohled čelisti



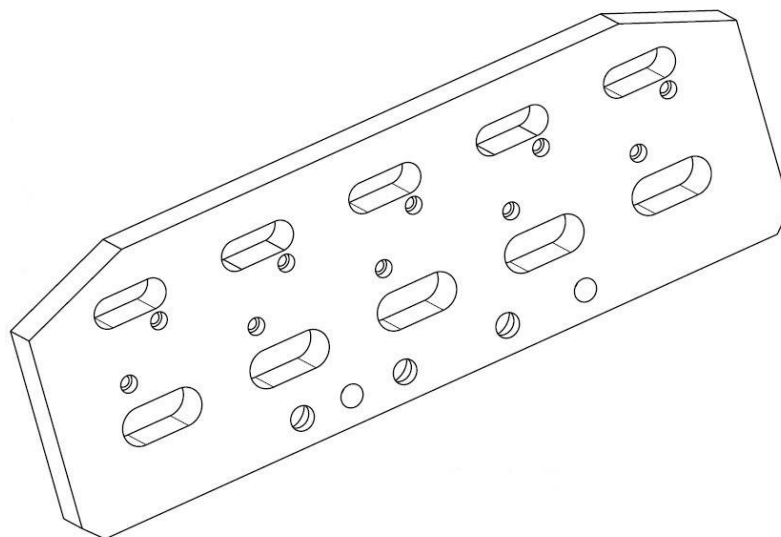
Obr. 36) Řez A-A



Obr. 37) Řez B-B

5.2 Kotvicí deska mechanických chapadel SCHUNK MPG-plus 20-AS

V rámci přesného situování paralelních chapadel byla navržena kotvicí deska, která zohledňuje prostorové požadavky na jejich umístění, včetně indukčních čidel a vzduchových hadic.

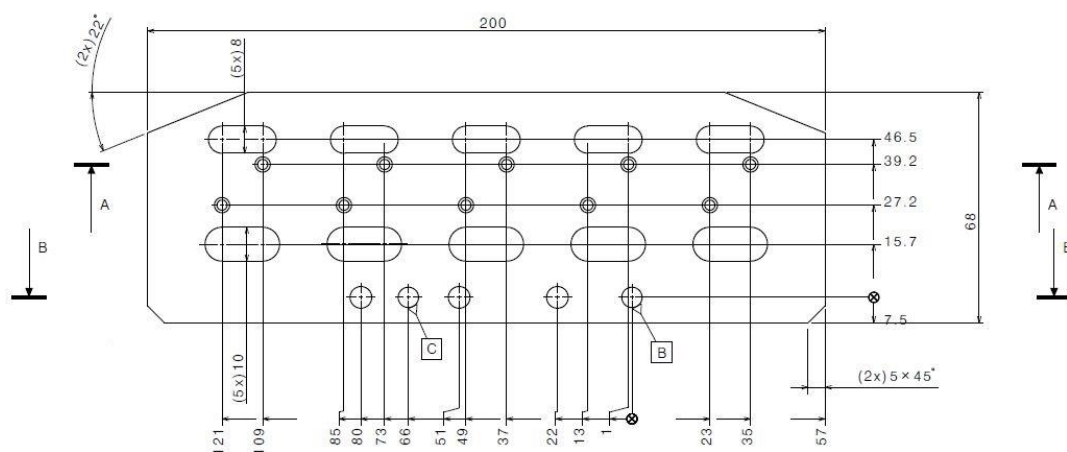


Obr. 38) Kotvicí deska – izometrický pohled

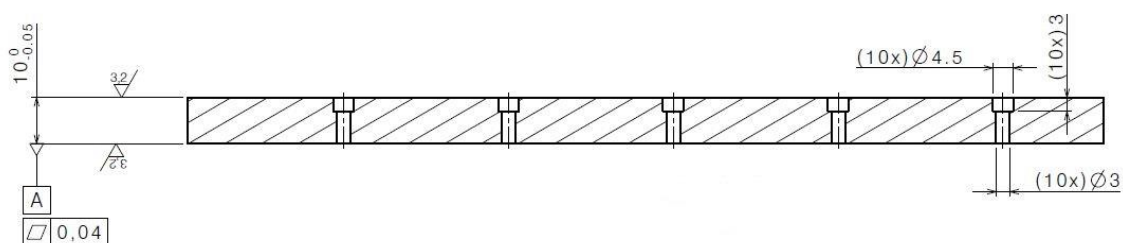
Oválné otvory v přední části desky slouží k snadnému umístění indukčních čidel a zároveň svým odsazením od koncových hran plní ochrannou funkci při eventuálním bočním nárazu do překážky, aby nedošlo k poškození drahých částí koncového efektoru. K snadnému a selektivnímu protažení vzduchových hadic jsou určeny oválné otvory v zadní části.

Samotné připojení mechanických paralelních chapadel na desku vychází z připojovacích závitů M2,5 na šasi chapadel, současně s tím je dbáno na rovinnost a drsnost stykových ploch.

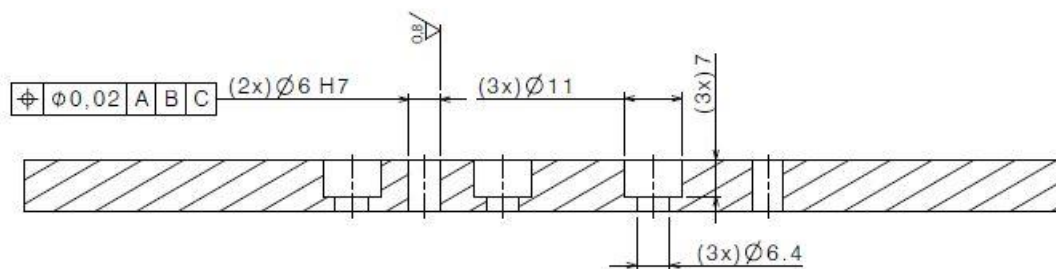
Kótovací systém je vztažen ke kolíkové díře, přísně tolerované, z důvodu nároků na přesnost připojení ke zbytku koncového efektoru. Materiálem desky je dural.



Obr. 39) Půdorys kotvicí desky



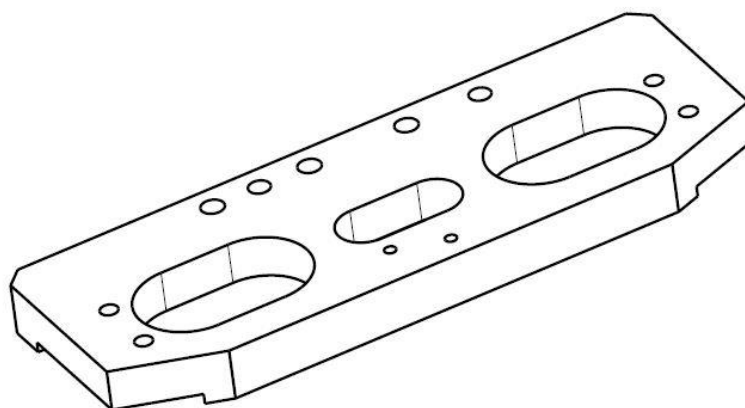
Obr. 40) Řez A-A



Obr. 41) Řez B-B

5.3 Základní umíst'ovací deska vakuových přísavek

Při konstrukci desky k připojení vakuových přísavek bylo zapotřebí zajistit precizní rozložení vzhledem k velkému množství připojovaných prvků, jako jsou např. indukční snímače, optoelektronický snímač přítomnosti nebo jednotlivé vakuové přísavky. V tomto důsledku bylo navrženo univerzální rozhraní s poměrně velkou možností kompenzace. Z důvodu úspory váhy je materiálem desky taktéž dural.



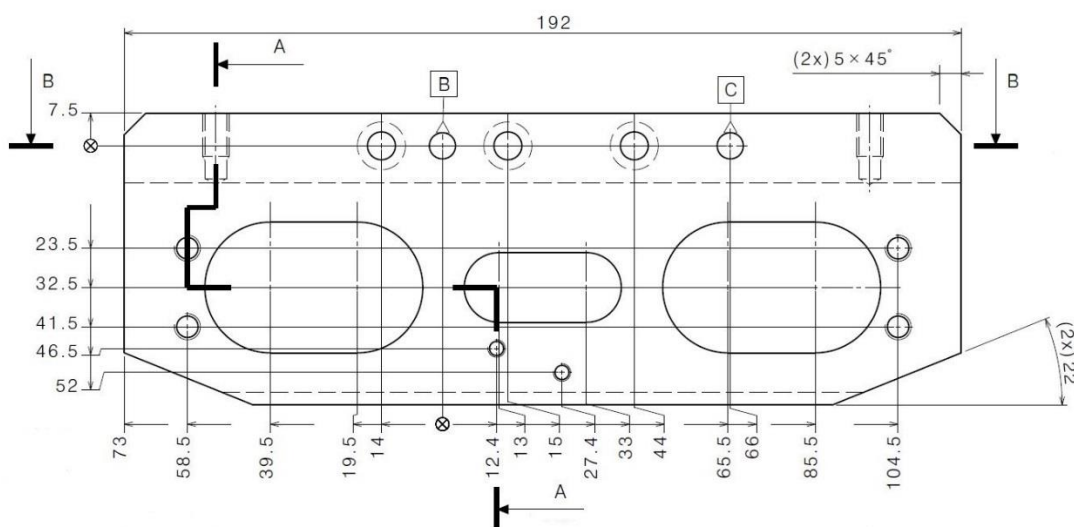
Obr. 42) Základní deska vakuových přísavek – izometrický pohled

S pomocí nastavitelné desky a příruby (viz příloha), které slouží jako uchycení těla vakuové přísavky, lze pomocí krajních oválných otvorů regulovat vzdálenost těchto elementů koncového efektoru mezi sebou, a to pro případné účinnější nastavení pozice určené k vytvoření vakua na stykové ploše výlisku a gumového měchu přísavky. Prostřední oválný otvor umožňuje průchod paprsku optoelektronického snímače.

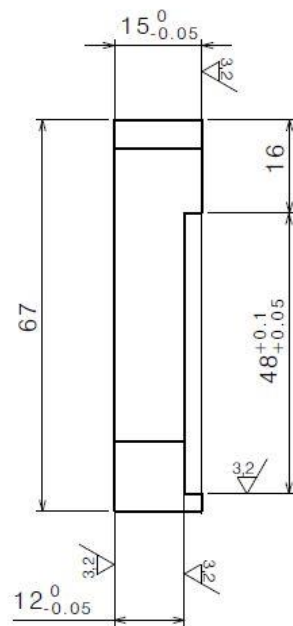
Zcela zásadní roli zde opět hraje poloha a přesnost kolíkových otvorů, na jejichž základě je vytvořen kótovací, tolerovací systém a zároveň díky nim probíhá počáteční připojení této desky ke zbytku koncového efektoru.

Všechny důležité připojovací rozměry a jejich stykové plochy jsou ošetřeny pomocí drsnosti povrchu a tolerance horních, dolních mezních úchylek.

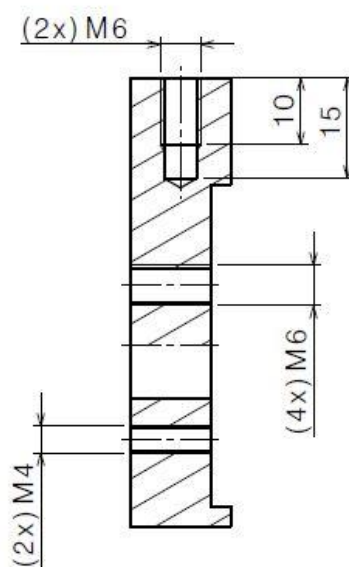
Boční závitové díry 2xM6 zastávají funkci připevnění držáků pro indukční snímače polohy.



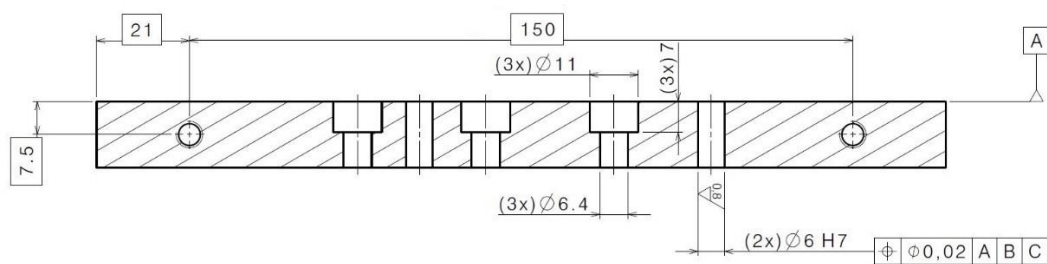
Obr. 43) Půdorys desky pro umístění vakuových přísavek



Obr. 44) Pravý bokorys základní desky přísavek



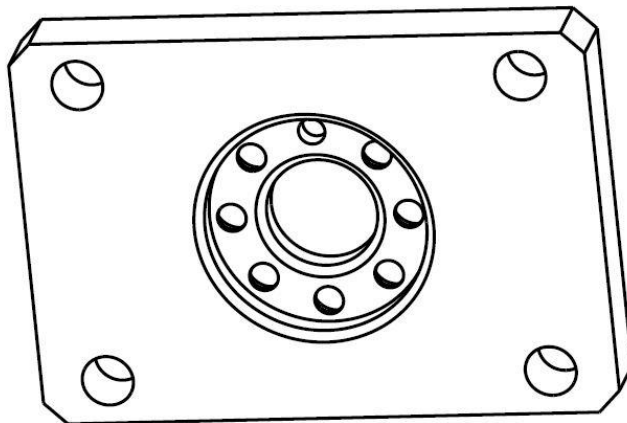
Obr. 45) Řez A-A



Obr. 46) Řez B-B

5.4 Připojovací deska k interface robotu

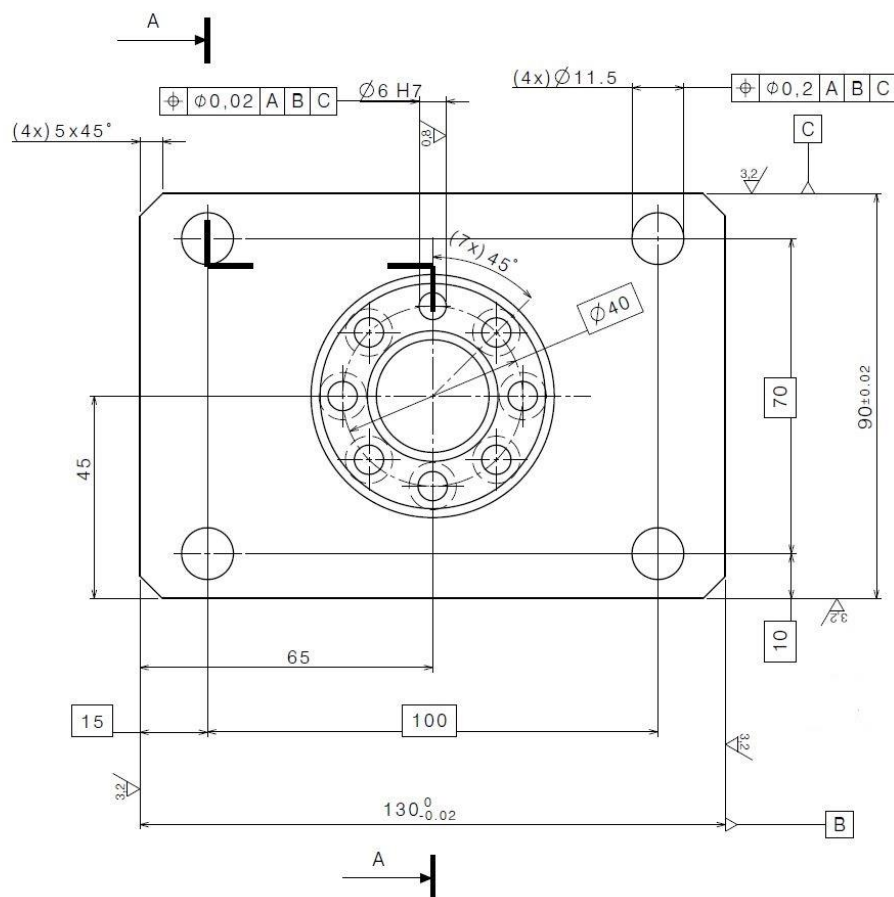
Upevnění celkové sestavy koncového efektoru k robotu je zabezpečeno prostřednictvím připojovací desky, která pomocí jediného kolíkového otvoru $\varnothing 6$ H7 a sedmi děr pro šrouby s válcovou hlavou M6 zprostředkovává precizní stabilitu spojení. Kromě této zvolené varianty spojení koncového efektoru s robotem bylo uvažováno nad rychloupínacím výměnným adaptérem od společnosti SCHUNK, avšak tento typ vazby by dále prohluboval celkové finanční náklady a hmotnost efektoru. Proto bylo rozhodnuto pro připevnění skrze tuto desku, i z důvodu ověřené funkce konceptu tohoto charakteru z testovacího robotického pracoviště společnosti PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí.



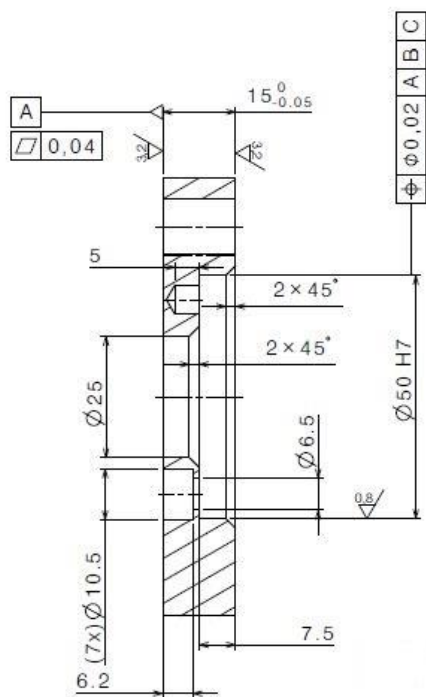
Obr. 47) Připojovací deska k interface robotu – izometrický pohled

Dominantou této desky je centrální zahhloubený otvor se sraženými hranami a velice jemnou drsností povrchu pro snadnější upevnění, odpovídající připojovacímu rozhraní robotu FANUC M-20iA/20M.

Při montáži bude tato deska nejprve ustavena zajišťovacím kolíkem a následně přišroubována, proto je důležité, aby při výrobě byly dodrženy zejména geometrické tolerance polohy otvoru kolíkové díry a otvorů pro šrouby s válcovou hlavou. Zvoleným materiálem pro tuto desku je ocel 1.2842, která bude následně kalena na 50+2HRc kvůli zvýšení pevnosti.



Obr. 48) Půdorys připojovací desky k interface robotu FANUC M-20iA/20M



Obr. 49) Řez A-A

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést rešerši problematiky průmyslových robotů a manipulátorů a na jejím základě vytvořit návrh automatizace daného výrobního procesu zakládání dílů do svařovacího přípravku, dále zpracovat vhodnou konstrukční koncepci koncového efektoru, uskutečněnou pomocí CAD modelu a jeho výkresové dokumentace.

Obsahem rešerše bylo stručné seznámení s oblastí průmyslových robotů a manipulátorů, bylo pojednáno např. o jejich definici, kategorizaci, určení a pracovních prostorech. Na konci této kapitoly byl uveden žebříček nejvýznamnějších výrobců PRAm dle počtu instalovaných kusů po dobu existence firem.

Stěžejní částí této bakalářské práce byla kapitola o návrhu automatizace výrobního procesu, zejména pak podkapitola týkající se kalkulace dle metodiky Basic MOST, z níž jednoznačně vyplynulo, že stávající obsluha výrobní linky (tzn. operátor výroby) pracuje s určitými časovými prodlevami, což indikuje prostor pro zefektivnění produkce. Proto byl proveden simulační experiment na robotickém testovacím pracovišti společnosti PWO Czech Republic a. s. Valašské Meziříčí, kde byl v průběhu této zkoušky naměřen čas modelových pohybů šestiosého robotu FANUC M-20iA/20M, nahrazujícího práci operátora výrobní linky. Daný test ukázal, že by robot měl vyprodukovat o 19 kusů hotových dílů za hodinu více než člověk, a přispěl rovněž ke konečnému rozhodnutí, co se týče způsobu dávkování matic: ty by měly být přiváděny vibračním dopravníkem do jedné dráhy, kde by pomocí separačního zařízení docházelo k jejich ustavení do jednoznačně orientované polohy. Následně by matice byly odebrány pomocí paralelních mechanických chapadel. Na základě těchto výstupů bylo zkalkulováno ekonomické zhodnocení hodinové sazby robota versus operátora výrobní linky; konečná ušetřená částka při použití robota ve výrobě činí až 79 440 €.

Náplní další kapitoly v pořadí bylo vytvoření konstrukčního návrhu koncového efektoru vhodného pro tento typ výrobní aplikace. Realizovaný koncept pro robot FANUC M-20iA/20M pracuje s kombinací vakuové a mechanické části efektoru, která takto splňuje všechny nároky na uchopení, manipulaci a zakládání výlisku i matic do svařovacího přípravku i gitterboxu. Zároveň byly do CAD modelu koncového efektoru, zpracovaného v softwaru Catia V5 2016, nachystány TCP (Tool Center Point coordinate system) souřadné systémy – viz Obr. 16), Obr. 29), Obr. 32) a Obr. 33), vztažené k centrálním koncovým bodům jednotlivých nástrojů efektoru. Zmíněné systémy usnadní práci v rámci budoucího programování robota s tímto koncovým efektozem.

Závěrečná kapitola prezentuje výkresovou dokumentaci pouze důležitých připojovacích částí efektoru. Její kompletní zpracování je zařazeno do příloh práce.

Pro reálnou aplikaci efektoru do výrobního procesu by bylo zapotřebí zohlednit balicí předpis výlisku i hotového dílu, který je v současné době z pohledu jakékoliv automatizace velice problematický. Jeho případná změna je však již nad rámec této bakalářské práce i z toho důvodu, že si toto ustanovení ve značném procentu případů určuje sám zákazník s ohledem na své standardy kvality. Řešením tohoto problému, jakož i návrhem vibračního dopravníku se separačním zařízením by bylo možné se zabývat v dalším projektu.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Factoryautomation.cz: časopis o průmyslové automatizaci a robotice [online]. Praha: FANUC Czech, 2015, 2015 [cit. 2018-02-05]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historicky-vyvoj-automatizace-poznejte-12-zasadnich-dat/>
- [2] Ford Motor Company: Ford. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018, 4. 10. 2017 [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Ford_Motor_Company
- [3] RUMÍŠEK, CSC., Doc. Ing. Pavel. *Automatizace: roboty a manipulátory* [online]. Brno, 2004 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf. Skripta. VUT FSI Brno.
- [4] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-88922-27-5.
- [5] Factoryautomation.cz: časopis o průmyslové automatizaci a robotice [online]. Praha: FANUC Czech, 2017, 2017 [cit. 2018-02-07]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/5-veci-ktere-je-potreba-zvazit-pri-automatizaci-prumyslovymi-roboty/>
- [6] Roboti v automobilce Tesla: Ilustrační snímek. In: *Aktuálně.cz* [online]. Praha: Economia, 2017, 19. 6. 2017 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/roboti-seberou-az-polovinu-pracovnich-mist-v-cesku-rika-pora/r~aa36599654c911e791210025900fea04/>
- [7] FORMÁNEK, PH. D, Doc. Ing. Josef. Podklady k uspořádání řídicím systémům i řízení manipulátorů a robotů. *Předmět Automatické řízení výrobní techniky (KKS/ARVT)* [online]. Plzeň: ZČU v Plzni – Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů, 2014, s. 1-13 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvyuka-amzt/Data/ivk-arvt-soubory/14-F.pdf>
- [8] KNOFLÍČEK DR., doc. Ing. Radek. *Roboty a pružné výrobní systémy: Studijní opora* [online]. 1. Brno: VUT FSI Brno, 2004 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/FRM/Roboty%20a%20pružné%20výrobní%20systémy.pdf>
- [9] Robotika. In: *Střední průmyslová škola Brno, Purkyňova, příspěvková organizace* [online]. Brno: SSP BRNO, [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7493/mod_resource/content/1/ROBOTIKA.pdf
- [10] Kinematika. In: *Center for machine perception: Department of Cybernetics, Czech Technical University in Prague* [online]. Praha: ČVUT, 2004 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/FRM/Roboty%20a%20pružné%20výrobní%20systémy.pdf>
- [11] Factoryautomation.cz: časopis o průmyslové automatizaci a robotice [online]. Praha: FANUC Czech, 2017, 2017 [cit. 2018-03-18]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/top-10-vyrobcu-robotu-na-svete-kolik-instalovali-robotu>
- [12] Factoryautomation.cz: časopis o průmyslové automatizaci a robotice [online]. Praha: FANUC Czech, 2016, 2016 [cit. 2018-02-20]. ISSN 2533-4271. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/3-nejcastejsi-moznosti-automatizace-vyroby>

- [13] VOJÁČEK, Antonín. Základní úvod do oblasti internetu věcí (IoT): IoT. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: HW server, 2016, 16. Zář 2016 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zakladni-uvod-do-oblasti-internetu-veci-iot.html>
- [14] Schinkmann [online]. Kosmonosy: Schinkmann, ©1991-2018 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-vystupkove-svarovani>
- [15] BARTOŠEK, Petr. *Využití bodového svařování ve strojírenském průmyslu*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Votava, Ph.D.
- [16] DLABAČ, PH. D., Ing. Jaroslav. Analýza a měření práce. *Academy of Productivity and Innovations* [online]. Slaný: API – Akademie produktivity a inovací, 2015, 29. 10. 2015 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>
- [17] FANUC Robot ARC Mate 120iC FANUC Robot M-20iA: *Mechanical unit operator's manual*. Praha, 2017.
- [18] FANUC Europe Corporation. *M-20iA/20M: Datasheet*. Praha, 2017. Dostupné také z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m-20/m-20ia-20m>
- [19] M-20iA/20M: Silák pro velké setrvačné momenty. FANUC [online]. Praha: FANUC Czech, 2017 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m-20/m-20ia-20m>
- [20] Přisavky: FESTO. *Přisavky: FESTO* [online]. Zlín: FESTO, 2007 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/VAS_CZ.PDF
- [21] 2D/3D-CAD pro vakuová přísavka VASB-30-1/8-NBR #35412. *2D/3D-CAD pro vakuová přísavka VASB-30-1/8-NBR #35412* [online]. Zlín: FESTO, 2007 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_VAS_VASB
- [22] Vacuum generator OVEM: metric. *Vacuum generator OVEM: metric* [online]. Zlín: FESTO, 2017 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/npc/npc-config-ui/start.do?caller=KAT&product=OVEM.CONFIGURATIONVIEW&caturl=https%3A%2F%2Fwww.festo.com%2Fcat%2Fcs_cz%2Fproducts_OVEM&configurationId=26078680-e01f-4743-8f69-5b161983c791&tabId=3173ad3e-ff26-402e-87db-9e3f6b313311#!/product/OVEM_PRODUKTKONFIGURATOR
- [23] Indukční snímače: IME. *SICK: sensor intelligence* [online]. Praha: SICK spol., 2018 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/indukcni-snimace/ime/ime08-02bpszt0s/p/p228386>
- [24] Optoelektronické snímače: W4S-3. *SICK: sensor intelligence* [online]. Praha: SICK spol., 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w4s-3/wtb4s-3p3131/p/p222119>
- [25] MPG-plus 20-AS. *SCHUNK: Superior Clamping and Gripping* [online]. Mengen: SCHUNK GmbH & Co., 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: https://schunk.com/sg_en/gripping-systems/product/39804-0305492-mpg-plus-20-as/
- [26] 80P-10-1MS-PF-N-SLG-5M. *FESTO* [online]. Zlín: FESTO, 2007 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_VI80_MP
- [27] IN 40-S-M8. *SCHUNK: Superior Clamping and Gripping* [online]. Mengen: SCHUNK GmbH & Co., 2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: https://schunk.com/sg_en/gripping-systems/seriesaccessory/in/product/1407-0301474-in-40-s-m8/

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam tabulek

TAB 1) FINANČNÍ NÁKLADY V RÁMCI POŘÍZENÍ ŠESTIOSÉHO ROBOTA FANUC M-201A/20M.....	37
TAB 2) ZÁKLADNÍ EKONOMICKÁ DATA STROJE V RÁMCI ŽIVOTNOSTI PROJEKTU	38
TAB 3) PRACOVNÍ VYTÍŽENÍ LINKY.....	38
TAB 4) NÁKLADY A STANOVENÍ VÝKONU ZA ROK.....	39
TAB 5) VLASTNOSTI JEDNOTLIVÝCH OS ROBOTA [18]	44
TAB 6) OBECNÉ TECHNICKÉ ÚDAJE PŘÍSAVKY FESTO TYPU VASB-30-1/8-NBR [20]	46
TAB 7) CHARAKTERISTIKA VAKUOVÉHO EJEKTORU FESTO OVEM-07-L-B-QO-OE-N-2P [22]	47
TAB 8) TECHNICKÉ ÚDAJE INDUKČNÍHO ČIDLA SICK IME08-02BPSZT0S [23]	48
TAB 9) VLASTNOSTI OPTOELEKTRONICKÉHO SNÍMAČE WTB4S-3P3131 [24]	50
TAB 10) PŘEHLED VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ SCHUNK MPG-PLUS 20-AS [25]	54
TAB 11) VYBRANÁ TECHNICKÁ DATA ČIDLA SCHUNK IN 40-S-M8 [27]...	56

8.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ROBOTICKÁ LINKA V AUTOMOBILCE TESLA [5].....	17
OBR. 2) ZNÁZORNĚNÍ KINEMATIKY LIDSKÉ RUKY [4]	19
OBR. 3) BLOKOVÉ SCHÉMA ROZDĚLENÍ MANIPULAČNÍCH MECHANISMŮ [7].....	20
OBR. 4) KARTÉZSKÁ STRUKTURA [10]	23
OBR. 5) VÁLCOVÁ (CYLINDRICKÁ) STRUKTURA [10]	24
OBR. 6) SFÉRICKÁ STRUKTURA [10].....	24
OBR. 7) ANGULÁRNÍ STRUKTURA [10].....	25
OBR. 8) ODPOROVÝ SVAŘOVACÍ LIS	28
OBR. 9) VÝLISEK VSTUPUJÍCÍ DO OPERACE ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ	29
OBR. 10) MATICE M6 URČENÁ K PĚTINÁSOBNÉMU VÝSTUPKOVÉMU NAVAŘENÍ NA VÝLISEK Z OBR. 9)	29

OBR. 11) KONSTRUKCE SVAŘOVACÍHO PŘÍPRAVKU SE ZALOŽENÝM VÝLISKEM SPOLEČNĚ S MATICEMI	29
OBR. 12) DOKONČENÁ SESTAVA PO OPERACI ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ	30
OBR. 13) SCHÉMA STANDARDU PRACOVÍŠTĚ	30
OBR. 14) ILUSTRAČNÍ SCHÉMA ROBOTU FANUC M-20IA/20M [17]	34
OBR. 15) ILUSTRAČNÍ OBRÁZEK TESTOVACÍHO DÍLU ORIENTOVANÉHO V „MĚŘIČSKÉ STAVEBNICI“	35
OBR. 16) SESTAVA KONCOVÉHO EFEKTORU A) VAKUOVÁ ČÁST B) MECHANICKÁ ČÁST	43
OBR. 17) ROBOT FANUC M-20IA/20M [19]	44
OBR. 18) SILOVÉ UVOLNĚNÍ PŘI POHYBU V Kladném směru osy Z... 45	45
OBR. 19) CAD MODEL VAKUOVÉ PŘÍSAVKY TYPU VASB-30-1/8-NBR [21] 46	46
OBR. 20) ILUSTRAČNÍ OBRÁZEK VAKUOVÉHO EJEKTORU TYPU FESTO OVEM [22].....	47
OBR. 21) INDUKČNÍ ČIDLO SICK IME08-02BPSZT0S [23]	48
OBR. 22) UMÍSTĚNÍ INDUKČNÍHO SNÍMAČE SICK IME08-02BPSZT0S NA KONCOVÉM EFEKTORU	49
OBR. 23) OPTOELEKTRONICKÝ SNÍMAČ WTB4S-3P3131 [24].....	49
OBR. 24) DETAIL PŘIPOJENÍ SNÍMAČE WTB4S-3P3131 NA KONCOVÉM EFEKTORU	50
OBR. 25) SILOVÉ UVOLNĚNÍ PŘI POHYBU V Kladném směru osy Z... 51	51
OBR. 26) SILOVÉ UVOLNĚNÍ MATICE PŘI POHYBU V Kladném směru osy X.....	52
OBR. 27) SILOVÉ UVOLNĚNÍ PŘI POHYBU V Záporném směru osy Y 53	53
OBR. 28) PARALELNÍ MECHANICKÉ CHAPADLO SCHUNK MPG-PLUS 20-AS [25].....	54
OBR. 29) DETAIL PŘIPOJENÍ MECHANICKÉHO CHAPADLA SCHUNK MPG-PLUS 20-AS	55
OBR. 30) VENTILOVÝ BLOK 80P-10-1MS-PF-N-SLG-5M [26].....	55
OBR. 31) UMÍSTĚNÍ ČIDEL SCHUNK IN 40-S-M8 NA CHAPADLECH KONCOVÉHO EFEKTORU	56
OBR. 32) SESTAVA KONCOVÉHO EFEKTORU S ROBOTEM FANUC M-20IA/20M	57
OBR. 33) SESTAVA KONCOVÉHO EFEKTORU S ROBOTEM-DETAIL FANUC M-20IA/20M	58
OBR. 34) IZOMETRICKÝ POHLED ČELISTI MECHANICKÉHO CHAPADLA 59	59
OBR. 35) PŘEDNÍ POHLED ČELISTI.....	60
OBR. 36) ŘEZ A-A	60

OBR. 37) ŘEZ B-B.....	61
OBR. 38) KOTVICÍ DESKA – IZOMETRICKÝ POHLED	61
OBR. 39) PŮDORYS KOTVICÍ DESKY	62
OBR. 40) ŘEZ A-A	62
OBR. 41) ŘEZ B-B.....	62
OBR. 42) ZÁKLADNÍ DESKA VAKUOVÝCH PŘÍSAVEK – IZOMETRICKÝ POHLED	63
OBR. 43) PŮDORYS DESKY PRO UMÍSTĚNÍ VAKUOVÝCH PŘÍSAVEK.....	63
OBR. 44) PRAVÝ BOKORYS ZÁKLADNÍ DESKY PŘÍSAVEK.....	64
OBR. 45) ŘEZ A-A	64
OBR. 46) ŘEZ B-B.....	64
OBR. 47) PŘIPOJOVACÍ DESKA K INTERFACE ROBOTU – IZOMETRICKÝ POHLED	65
OBR. 48) PŮDORYS PŘIPOJOVACÍ DESKY K INTERFACE ROBOTU FANUC M-20IA/20M.....	66
OBR. 49) ŘEZ A-A	66

8.3 Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Veličina	Jednotka
m	hmotnost	kg
F ₁	síla vakuové přísavky č.1	N
F ₂	síla vakuové přísavky č.2	N
G	tíhová síla	N
a _x	translační zrychlení v ose x	m·s ⁻²
a _y	translační zrychlení v ose y	m·s ⁻²
a _z	translační zrychlení v ose z	m·s ⁻²
g	tíhové zrychlení	m·s ⁻²
F ₁	síla čelisti č. 1 mechanického chapadla	N
F ₂	síla čelisti č. 2 mechanického chapadla	N
F _{t1}	třecí síla od čelisti č. 1 mechanického chapadla	N
F _{t2}	třecí síla od čelisti č. 2 mechanického chapadla	N
f	dynamický koeficient tření	[-]
F _{t1y}	třecí síla od čelisti č. 1 mechanického chapadla v ose y	N
F _{t1z}	třecí síla od čelisti č. 2 mechanického chapadla v ose z	N
F _{t2y}	třecí síla od čelisti č. 1 mechanického chapadla v ose y	N
F _{t2z}	třecí síla od čelisti č. 2 mechanického chapadla v ose z	N
∅	průměr	mm

9 SEZNAM PŘÍLOH

- DATA KARTA pro Basic MOST[®]
- Výkres sestavy 02_01_000_KONCOVY_EFEKTOR_B19040_000100
- Soupiska materiálu D03095 0010-B19040-R
- Výrobní výkres 02_01_001_DESKA_INTERFACE__B19040_201001
- Výrobní výkres 02_01_002_DESKA_VRCHNI__B19040_201002
- Výrobní výkres 02_01_003_DESKA_SPODNI__B19040_201003
- Výrobní výkres 02_01_004_UHELNIK__B19040_201004
- Výrobní výkres 02_01_005_DESKA_SAVKY__B19040_201005
- Výrobní výkres
02_01_006_DESKA_SAVKY_NASTAVITELNA___B19040_201006
- Výrobní výkres 02_01_007__;
- Výrobní výkres 02_01_008_DRZAK_CIDLA_P__B19040_201008
- Výrobní výkres 02_01_009_DRZAK_CIDLA_L__B19040_201009
- Výrobní výkres 02_01_010_DRZAK_CIDLO__B19040_201010
- Výrobní výkres 02_01_011_INDIKATOR_CIDLO__B19040_201011
- Výrobní výkres 02_01_012_DRZAK_CIDLA_PRITOMNOST__B19040_201012
- Výrobní výkres 02_01_013_DESKA_KOTVICI__B19040_201013
- Výrobní výkres 02_01_014_FINGER__B19040_201014